

Bulletin épidémiologique Santé animale - alimentation

Janvier 2018

Scénarios alternatifs pour l'amélioration de l'efficacité du système de surveillance de la brucellose bovine en France

Viviane Hénaux (1)*, Didier Calavas (1)

*Auteur correspondant: viviane.henaux@anses.fr

(1) Université de Lyon – Anses, Laboratoire de Lyon, Unité Épidémiologie, Lyon, France

Résumé

La surveillance des maladies animales exotiques vise à identifier toute introduction et à maintenir le statut officiellement indemne. Dans un contexte de diminution des ressources, l'évaluation de l'efficacité – c'est-à-dire la sensibilité rapportée au coût – de la surveillance est essentielle pour aider les gestionnaires à prendre des décisions éclairées concernant l'allocation des ressources. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité du système français de surveillance de la brucellose bovine à partir de modèles stochastiques d'arbres décisionnels. Le système de surveillance actuel, qui inclut la déclaration obligatoire des avortements, un dépistage sérologique annuel dans tous les élevages et des contrôles sélectifs des bovins achetés, répond aux objectifs de détection fixés par la réglementation européenne. Toutefois, un système alternatif incluant la déclaration obligatoire des séries d'avortements et un dépistage sérologique d'élevages sélectionnés parmi ceux les plus à risque serait plus efficace. De telles évolutions, tout en respectant les spécifications européennes concernant le statut indemne, réduiraient fortement le coût annuel de la surveillance. Ces économies pourraient être réinvesties dans des mesures complémentaires visant à l'amélioration opérationnelle de la surveillance.

Mots-clés

Brucellose, bovins, efficacité, surveillance, maladie exotique

Abstract

Alternative scenarios for improving the efficiency of the bovine brucellosis surveillance system in France
Surveillance systems for exotic animal diseases aim to identify any introductions and to support the disease-free status. In a context of decreasing resources, evaluating surveillance efficiency – i.e. detection sensitivity versus cost – is essential to help stakeholders make informed decisions about funding allocation. The goal of this study was to evaluate the efficiency of the French bovine brucellosis surveillance system using stochastic scenario tree models. The current surveillance system, which includes mandatory abortion notification, annual serological testing in all herds, and selected controls of purchased cattle, meets the detection objectives of the European regulation. However, an alternative scenario including mandatory notification of series of abortions and serological screening in selected high-risk herds was predicted to be more efficient. Implementing these types of changes, while complying with European specifications for disease-free status, would strongly reduce annual surveillance costs. These savings could be reinvested in additional measures to improve the surveillance system.

Keywords

Brucellosis, Cattle, Efficiency, Surveillance, Exotic disease

La surveillance des maladies animales exotiques vise à assurer la transparence d'un pays vis-à-vis de sa situation sanitaire et à maintenir son statut officiellement indemne, qui permet l'accès aux marchés internationaux. Dans le cas des maladies hautement contagieuses, la surveillance est également destinée à détecter dès que possible toute introduction pour limiter les dépenses liées à la diffusion de la maladie et aux mesures de lutte. Dans un contexte de diminution des ressources allouées à la surveillance des dangers sanitaires, l'évaluation des performances et du coût des systèmes de surveillance des maladies est nécessaire pour optimiser l'allocation des ressources.

La France est officiellement indemne de brucellose bovine (OBF) depuis 2005. Cette maladie, causée par *Brucella abortus* ou *B. melitensis*, est une zoonose majeure. Chez les bovins, le signe clinique principal est l'avortement, généralement dans le troisième tiers de la gestation. Le système de surveillance et de lutte vis-à-vis de la brucellose bovine a été mis en place en 1965 lorsque 35 % des troupeaux étaient infectés. La combinaison d'un abattage systématique des élevages infectés et de la vaccination a permis d'éradiquer la maladie et d'acquérir le statut OBF. Cependant, le risque de réintroduction est non-nul comme l'ont démontré les cas détectés dans deux départements en 2012 (Rautureau et al. 2013); ces événements soulignent l'importance de maintenir un niveau de surveillance élevé.

Le système de surveillance a peu évolué depuis sa mise en place et repose sur trois dispositifs: la déclaration obligatoire des avortements (surveillance événementielle), un dépistage sérologique annuel dans tous les troupeaux (surveillance programmée) et le dépistage des animaux à l'achat sous certaines conditions. Plusieurs études ont évalué l'efficacité du système actuel (Hendrikx et al. 2011, Bronner et al. 2015), les performances de la surveillance événementielle (Bronner et al. 2014, Bronner et al. 2013) et le coût des différents dispositifs (Hénaux et al. 2015). Ces études ont mis en évidence une forte sous-déclaration des avortements, suggérant une sensibilité limitée de la surveillance événementielle (Bronner et al. 2013). Par ailleurs, le coût annuel du système a été estimé à 17 millions d'euros (M€) pour 2013 (Hénaux et al. 2015). Il y a par conséquent une forte demande pour estimer l'efficacité de ce système (c'est-à-dire sa sensibilité rapportée à son coût), identifier les pistes d'amélioration et apporter des éléments techniques aux réflexions actuelles autour des évolutions potentielles de ce système.

Nous avons réalisé une évaluation coût-efficacité du système de surveillance de la brucellose bovine. Pour cela, nous avons considéré que la finalité première de la surveillance de la brucellose bovine était d'assurer le maintien du statut OBF. Selon la réglementation européenne, la prévalence annuelle de la maladie doit être d'au plus

0,2 %, c'est-à-dire au maximum deux élevages infectés sur mille. Nous avons donc retenu la sensibilité, définie comme la probabilité annuelle de détecter la maladie si celle-ci est présente à un certain niveau dans la population, comme indicateur de l'efficacité du dispositif. La sensibilité et le coût du système de surveillance actuel ont été comparés à ceux de scénarios alternatifs simulés par une approche de modélisation stochastique d'arbres décisionnels (Martin, Cameron, and Greiner 2007) (Encadré). Les résultats complets de l'étude sont décrits dans Hénaux and Calavas (2017).

Scénarios de surveillance explorés

Système de surveillance actuel

Le système de surveillance est défini par l'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 bovins et repose sur trois dispositifs (Tableau 1):

- la surveillance événementielle (CLIN1) consiste en la déclaration obligatoire de tout avortement. Les étapes critiques de ce dispositif incluent la survenue d'un avortement chez un animal infecté, l'observation de l'avortement par l'éleveur, la déclaration immédiate et l'investigation de l'avortement par le vétérinaire sanitaire, et l'obtention d'un résultat positif aux tests sachant que l'animal est infecté,
- la surveillance programmée (PROG1) consiste en un dépistage sérologique annuel dans tous les élevages bovins. Dans les élevages allaitants et dans une faible proportion des élevages laitiers (producteurs de lait cru et/ou de fromages à base de lait cru), le dépistage se fait sur les prélèvements de sang sur 20 % des bovins de l'élevage. Dans la plupart des élevages laitiers, le dépistage se fait sur le lait de tank,
- les contrôles à l'introduction (INTRO1): les bovins introduits dans un élevage sont testés s'ils proviennent d'un élevage présentant un « risque spécifique vis-à-vis de cette maladie » (élevage précédemment infecté, en lien avec un foyer ou un réservoir sauvage, etc.) ou si le délai entre l'élevage d'origine et l'élevage de destination excède six jours.

Scénarios de surveillance alternatifs

Plusieurs scénarios alternatifs ont été évalués, en faisant varier les paramètres de chaque dispositif de surveillance (Tableau 1):

- pour la surveillance événementielle, la déclaration obligatoire uniquement après une série de deux avortements ou plus sur un mois (CLIN2); ce seuil est celui retenu pour la mise en place du protocole

Tableau 1. Sensibilité et coût des dispositifs de surveillance de la brucellose bovine en place en France et de dispositifs alternatifs à des prévalences escomptées (P_{ESC}) de 0,05 %, 0,02 % et 0,01 %

Dispositif de surveillance	Sensibilité (en %) +/- erreur standard			Coût (M€) +/- erreur standard
	$P_{ESC} = 0,05 \%$	$P_{ESC} = 0,02 \%$	$P_{ESC} = 0,01 \%$	
CLIN1: déclaration de tous les avortements	97,0 ± 4,5	82,1 ± 13,1	60,3 ± 16,1	2,91 ± 0,62
CLIN2: déclaration de séries de deux avortements ou plus	68,4 ± 44,3	59,1 ± 38,3	44,9 ± 31,7	0,52 ± 0,37
PROG1: dépistage dans 100 % des élevages (sur sang de 20 % des bovins ou sur lait de tank)	99,5 ± 0,9	91,9 ± 6,6	76,3 ± 10,1	8,61 ± 1,12
PROG2: dépistage sur sang de 100 % des bovins dans 20 % des élevages et dépistage sur lait de tank dans 100 % des élevages	99,5 ± 0,8	90,9 ± 6,5	73,2 ± 8,9	5,60 ± 0,83
PROG3: dépistage dans 20 % des élevages (sur sang de 100 % des bovins ou sur lait de tank)	97,4 ± 3,8	81,6 ± 11,6	62,0 ± 11,5	5,22 ± 0,81
PROG4: dépistage dans 20 % des élevages, sélectionnés dans le groupe de risque élevé (sur sang de 100 % des bovins ou sur lait de tank)	100,0 ± 0,1	98,7 ± 2,5	93,8 ± 6,3	5,28 ± 0,83
PROG4: dépistage dans 20 % des élevages, sélectionnés dans le groupe de risque élevé (sur sang de 20 % des bovins ou sur lait de tank)	96,8 ± 3,7	78,4 ± 10,8	57,3 ± 11,1	1,73 ± 0,22
INTRO1: contrôle à l'introduction	30,2 ± 13,0	19,2 ± 6,2	17,2 ± 5,0	3,36 ± 0,59

Ont été considérés, des dispositifs de surveillance événementielle (CLIN), programmée (PROG) et les contrôles liés à l'introduction de bovins (INTRO)

de diagnostic différentiel des avortements dans les élevages (Kuntz et al. 2016),

- pour la surveillance programmée, dépistage de 20 ou de 100 % des élevages, sélection des élevages au hasard dans les trois groupes de risque ou uniquement dans le groupe de risque élevé, proportion variable d'animaux dépistés au sein des élevages (20 vs. 100 %),
- pour les contrôles à l'introduction, leur abandon.

Au total, en incluant le système de surveillance actuel, vingt scénarios ont été testés.

Résultats

La sensibilité et le coût de chaque dispositif de surveillance sont présentés dans le **Tableau 1** pour différents niveaux de prévalence escomptée (P_{ESC}).

Sensibilités et coûts par dispositif de surveillance

En considérant $P_{ESC}=0,01$ %, la sensibilité du dispositif actuel de surveillance des avortements (CLIN1) a été estimée à 60 % pour un coût de 2,9 M€ et celle d'un dispositif basé sur la déclaration de série d'avortements (CLIN2) à 45 %, pour un coût de 0,5 M€.

Le dispositif actuel de surveillance programmée (PROG1) a une sensibilité moyenne estimée à 76 %, pour un coût de 8,6 M€. L'effort d'échantillonnage (i.e. le nombre total d'animaux testés) est similaire entre PROG1 et PROG2 résultant en une performance comparable en terme de sensibilité; toutefois, le coût estimé de PROG2 était plus faible (5,6 M€) du fait d'une plus petite proportion d'élevages dépistés. La comparaison de PROG3 et PROG4 (échantillonnage aléatoire vs. basé sur le risque) a montré que pour un coût similaire (5,2 M€), le dépistage des élevages à risque était plus sensible. Les simulations ont montré que la réduction de la proportion d'animaux dépistés de 100 à 20 % (PROG4 vs. PROG5) entraînerait une forte diminution de la sensibilité, sauf à $P_{ESC}=0,05$ %.

Les contrôles à l'introduction (INTRO1) ont une sensibilité moyenne de 17 % à $P_{ESC}=0,01$ %, pour un coût de 3,4 M€.

Sensibilités et coûts par système de surveillance

La sensibilité globale du système de surveillance actuel a été estimée à 91 % pour $P_{ESC}=0,01$ % (**Figure 1**) et 98 % pour $P_{ESC}=0,02$ %, pour un coût total de 14,9 M€. Ce coût inclut 8,6 M€ pour la surveillance programmée (PROG1) et 3,4 M€ pour les contrôles d'introduction (INTRO1), soit un total de 12,0 M€ pour la profession agricole, et 2,9 M€ pour la surveillance événementielle (CLIN1) pris en charge par l'État.

Le coût des systèmes de surveillance alternatifs était moins élevé que celui du système actuel, mais les performances de détection étaient fortement variables.

Si on retient la P_{ESC} la plus basse ($P_{ESC}=0,01$ %, c'est-à-dire au plus 20 élevages infectés au niveau national), cinq scénarios avaient une sensibilité moyenne estimée égale ou supérieure au système actuel: scénarios PROG4+CLIN2 (pour un coût de 5,8 M€), PROG4+CLIN1 (8,1 M€), PROG4+CLIN2+INTRO1 (8,6 M€), PROG4+CLIN1+INTRO1 (11,5 M€) et PROG2+CLIN1+INTRO1 (11,8 M€) (**Figure 1**). Selon les scénarios, cela correspond à une réduction de 20 à 61 % du coût annuel de la surveillance, soit de 3,1 à 9,1 M€, en comparaison avec le dispositif actuel.

Discussion

Cette évaluation a permis de montrer que le système de surveillance de la brucellose bovine actuellement en place en France est en mesure de détecter au moins un élevage infecté par an à une $P_{ESC} \geq 0,02$ %, grâce à la sensibilité élevée de la surveillance programmée

Encadré

Matériel et méthodes

La méthode d'arbres décisionnels utilise une structure en arbre pour décrire la population d'étude (les élevages bovins) et les modalités de surveillance, et capter explicitement la probabilité qu'un animal soit infecté par la maladie et détecté (FAO 2014). Cette approche se décompose en plusieurs étapes (Hadorn et al. 2009): la stratification de la population en fonction du risque, la description des dispositifs de surveillance sous forme d'arbres décisionnels, la quantification de la sensibilité et du coût de chaque dispositif, l'évaluation de la sensibilité globale du système de surveillance actuel et de scénarios alternatifs. Ces étapes sont décrites brièvement ci-dessous et plus en détail dans Hénaux and Calavas (2017).

Stratification de la population

Les mouvements de bovins vivants sont considérés comme la principale source d'introduction de la brucellose bovine dans les élevages (Stringer et al. 2008, Nielsen and Duncan 1990, Dalrymple 1993). Par conséquent, les élevages bovins ont été répartis en trois groupes de risque, en fonction du nombre annuel d'introductions de bovins. Le groupe de risque faible était composé des élevages qui n'introduisaient aucun bovin, soit environ 45 % des élevages (base de données nationale d'identification (BDNI), 2010-2014). Le reste des élevages a été divisé en parts égales entre les groupes de risque moyen et élevé. Le risque relatif d'infection (correspondant à la différence de risque entre les groupes) a été quantifié à partir du nombre annuel d'introductions de bovins par élevage dans chaque groupe de risque.

Estimation de la sensibilité et du coût du système de surveillance

Pour chaque dispositif de surveillance, l'arbre décisionnel décrit tous les chemins possibles depuis l'introduction de la maladie dans un élevage jusqu'à la détection d'un animal infecté, comme une série d'événements, chacun associé à une probabilité de survenue (Martin, Cameron, and Greiner 2007, FAO 2014). Pour chaque dispositif, les probabilités associées aux différents événements ont été tirées de la littérature ou de la BDNI. La sensibilité du système de surveillance et de chaque dispositif a été calculée en considérant que la maladie était présente à une prévalence élevage donnée, appelée prévalence escomptée (P_{ESC}). Différentes P_{ESC} ont été considérées: 0,01 % (qui correspond à environ 20 élevages infectés au niveau national), 0,02 % (40 élevages) et 0,05 % (100 élevages).

Le modèle a estimé le coût de chaque système de surveillance en tenant compte du nombre d'opérations et d'analyses associées à chaque dispositif simulé. Les coûts unitaires, incluant les honoraires vétérinaires (pour les visites en élevage et les prélèvements de sang) et les frais de laboratoire, ont été extraits d'une précédente évaluation du coût du système de surveillance (Hénaux et al. 2015).

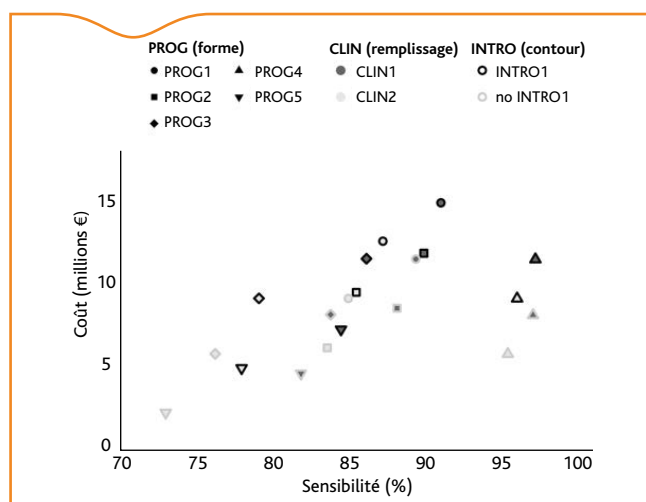


Figure 1. Sensibilité et coût des scénarios de surveillance actuel et alternatifs de la brucellose bovine en France à une prévalence escomptée de 0,01 %

Chaque scénario inclut la surveillance programmée (PROG, décrit par la forme), la surveillance événementielle (CLIN, couleur de remplissage) et des contrôles à l'introduction ou pas (INTRO, couleur de contour)

et à la bonne performance de la surveillance des avortements au niveau troupeau; les contrôles à l'introduction sont par contre peu performants. Toutefois, d'autres scénarios, combinant la surveillance événementielle (CLIN1 ou CLIN2) et un dépistage programmé d'un nombre limité (20 %) d'élevages tirés au hasard dans l'ensemble des élevages ou parmi ceux à risque élevé, ont été estimés comme plus efficaces (i.e. au moins aussi sensibles pour un coût plus faible).

Ces résultats sont à considérer dans l'objectif d'amélioration de l'efficacité de la surveillance de la brucellose bovine en France au regard des contraintes réglementaires et sanitaires. Il est important de noter que le coût global estimé par le modèle pour chaque scénario est à interpréter avec prudence étant donné la variabilité et l'incertitude liées aux données; toutefois, cela n'influence pas la comparaison des scénarios les uns par rapport aux autres en termes de coût (coût relatif de chaque scénario par rapport au système actuel).

Coût de la surveillance

Le modèle estime que le coût annuel du système de surveillance actuel est d'au moins 15 M€, ce qui est comparable à l'estimation de 17,1 M€ faite pour 2013 à partir des données enregistrées dans le système d'information de la DGAL (Sigal) (Hénaux et al. 2015). Cette précédente estimation incluait 10,2 M€ pour la surveillance programmée, 3,7 M€ pour la surveillance des avortements et 2,7 M€ pour les contrôles réalisés lors de l'achat de bovins. À cela, s'ajoutaient 0,5 M€ pour l'obtention et le maintien des dérogations à la surveillance dans les élevages engraisseurs et 0,03 M€ pour les activités associées à la gestion des cas suspects. Ces deux derniers postes de dépenses n'ont pas été pris en compte dans la présente simulation.

Les coûts de gestion administrative et de coordination du système de surveillance et des mesures de lutte par l'État et les organismes à vocation sanitaire (OVS), qui coordonnent la surveillance de la brucellose bovine au niveau départemental, n'ont jamais été estimés. Même si on peut penser que ces coûts varieraient peu entre les différents scénarios de surveillance simulés, la connaissance des dépenses associées aux ressources humaines et matérielles pour le fonctionnement de la surveillance serait nécessaire pour affiner l'analyse de l'efficacité des systèmes de surveillance.

Pistes d'évolution du système de surveillance

Nos résultats ont montré qu'en comparaison avec le système de surveillance actuel, plusieurs scénarios alternatifs seraient plus efficaces. La palette de scénarios de surveillance envisageables dépend à la fois de la sensibilité attendue en fonction de la P_{ESC} retenue et de la réglementation européenne pour maintenir le statut OBF. Le choix de la P_{ESC} n'est pas sans conséquence: plus celle-ci est faible, plus le niveau de surveillance doit être élevé pour démontrer que la maladie n'est pas présente (Martin, Cameron, and Greiner 2007) mais en revanche moins coûteuses sont les mesures de lutte pour éliminer la maladie. Nous avons considéré une P_{ESC} de 0,01 % pour comparer les différents scénarios (Figure 1), ce qui est vingt fois plus faible que le seuil fixé par la réglementation européenne pour maintenir le statut OBF (0,2 %). Toutefois, le seuil choisi correspond sur une base annuelle à une vingtaine d'élevages infectés (au maximum), ce qui entraînerait des coûts d'assainissement de plusieurs M€; par exemple, en 2012, 1,7 M€ ont été dépensés pour les mesures appliquées dans les deux foyers.

En considérant une sensibilité similaire à celle du dispositif actuel, le scénario le plus efficace incluait une surveillance événementielle basée sur la déclaration de séries d'avortements (CLIN2) et un dépistage de 20 % de la totalité des élevages identifiés au niveau national, sélectionnés parmi les élevages allaitants et laitiers identifiés comme étant à risque élevé (PROG4). Ce système de surveillance serait en accord à la fois avec la réglementation européenne et avec les perceptions des éleveurs vis-à-vis du risque brucellique et des modalités de surveillance (Bronner et al. 2014). Nos résultats ont montré que les contrôles à l'introduction n'étaient pas un dispositif important du

système de surveillance, du fait du faible risque d'infection des animaux introduits (étant donné qu'ils proviennent d'élevages OBF) et de la faible proportion d'introductions testées. L'abandon de ce dispositif s'alignerait avec la réglementation européenne qui ne requiert pas de contrôles lors de l'introduction de nouveaux animaux dans un élevage pour les pays OBF.

Mutualisation des coûts

Bien qu'une évolution du système de surveillance de la brucellose entraînerait une diminution des coûts annuels de 20 à 61 % (pour les scénarios au moins aussi sensibles que le système actuel), il faut tenir compte du fait qu'en France ce système de surveillance est partagé avec ceux d'autres maladies. En effet, le dépistage programmé et les contrôles à l'introduction vis-à-vis de la brucellose bovine sont réalisés de manière conjointe avec d'autres dangers sanitaires (tels que la tuberculose bovine ou la rhinotrachéite infectieuse bovine). Ainsi, il a été estimé qu'environ 30 % des dépenses vétérinaires pour le système actuel de surveillance de la brucellose bovine sont partagés avec d'autres maladies (Hénaux et al. 2015). Par conséquent, les économies pour les éleveurs de bovins seront probablement moindres que la diminution de 25 à 56 % prédite par le modèle selon les scénarios alternatifs sélectionnés. En outre, dans le cadre de la surveillance des avortements, les honoraires vétérinaires sont pris en charge par l'État, mais la visite et les prélèvements profitent à la surveillance d'autres maladies abortives enzootiques (dans le cadre du dispositif Oscar de la Plateforme ESA par exemple (Kuntz et al. 2016)).

Par ailleurs, les économies attendues pour un éleveur varient en fonction du mode de dépistage et du niveau de risque de l'élevage vis-à-vis de la brucellose bovine. Avec un dépistage aléatoire de 20 % des élevages (PROG2), les élevages testés sur le lait de tank continueraient à être testés annuellement (pour un coût incluant uniquement l'analyse de laboratoire, soit environ 4,70 € par an), alors que les élevages testés sur sang seraient dépistés tous les cinq ans (pour un coût moyen annuel de 38,50 € pour un élevage allaitant de taille moyenne, contre 65,20 € actuellement). Avec un dépistage basé sur le risque (PROG4), seuls les élevages à risque seraient dépistés et supporteraient le coût d'un système de surveillance national. Pour ces scénarios, il serait indispensable de mutualiser les coûts entre les éleveurs, via les OVS par exemple.

Si le travail entrepris a permis de définir des scénarios alternatifs qui seraient plus efficaces à sensibilité au moins égale au système actuel, s'engager dans une éventuelle évolution supposerait de mettre en œuvre toutes les mesures d'accompagnement du changement nécessaires: pédagogie auprès de l'ensemble des acteurs, évolutions réglementaires (déclaration obligatoire de séries d'avortements), et surtout mutualisation des coûts pour les éleveurs si l'option de ne dépister qu'une fraction des élevages était retenue. Une partie des économies réalisées (par rapport au système actuel) pourrait/devoir être réinjectée dans le système pour encourager la participation des acteurs en leur fournissant un support technique, en améliorant la communication vis-à-vis du risque brucellique, en développant des outils de diagnostic adéquats et en soutenant au niveau national le protocole de diagnostic différentiel des avortements (Touratier, de Crémoux, and Bronner 2012). Ces perfectionnements sont prévus dans le cadre de la Plateforme ESA.

Remerciements

Les auteurs remercient le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour l'accès aux données, Carole Sala et Jean-Luc Vinard (Anses Lyon, Unité Épidémiologie) pour leur contribution à l'administration et l'analyse des données.

Références bibliographiques

- Bronner, A., E. Gay, N. Fortané, M. Palussière, P. Hendriks, V. Hénaux, and D. Calavas. 2015. "Quantitative and qualitative assessment of the bovine abortion surveillance system in France." *Prev Vet Med* 120 (1):62-9. doi: 10.1016/j.prevetmed.2015.02.019.
- Bronner, A., V. Hénaux, N. Fortané, P. Hendriks, and D. Calavas. 2014. "Why do farmers and veterinarians not report all bovine abortions, as requested by the clinical brucellosis surveillance system in France?" *BMC Vet Res* 10:93. doi: 10.1186/1746-6148-10-93.
- Bronner, A., V. Hénaux, T. Vergne, J. L. Vinard, E. Morignat, P. Hendriks, D. Calavas, and E. Gay. 2013. "Assessing the mandatory bovine abortion notification system in France using unilist capture-recapture approach." *PLoS ONE* 8 (5):e63246. doi: 10.1371/journal.pone.0063246.
- Dalrymple, M. 1993. "Model for assessing the risk of introducing brucellosis into a brucellosis-free area." *Rev. Sci. Tech. Off. int. Epiz.* 12 (4):1175-1186.
- FAO. 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 Manual No. 17. Rome, Italy.
- Hadorn, D. C., V. Raclou, H. Schwermer, and K. D. Stark. 2009. "Establishing a cost-effective national surveillance system for Bluetongue using scenario tree modelling." *Vet Res* 40 (6):57. doi: 10.1051/vetres/2009040.
- Hénaux, V., A. Bronner, J.B. Perrin, A. Touratier, and D. Calavas. 2015. « Evaluation du coût global du dispositif de surveillance de la brucellose bovine en France en 2013. » *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* 69:28-35.
- Hénaux, Viviane, and Didier Calavas. 2017. "Evaluation of the cost-effectiveness of bovine brucellosis surveillance in a disease-free country using stochastic scenario tree modelling." *PLoS ONE* 12 (8):e0183037. doi: 10.1371/journal.pone.0183037.
- Hendriks, P., B. Garin-Bastuji, A. Fediaevsky, and B. Dufour. 2011. "Use of the OASIS tool for the assessment of exotic diseases surveillance systems in France, example of bovine Brucellosis surveillance." International Conference on Animal Health Surveillance (ICAHS), Lyon, France, 17-20 May 2011.
- Kuntz, G., F. Lars, S. Hosteing, and K. Gache. 2016. « Diagnostic différentiel des avortements en élevage bovin: application en Bretagne en 2015-2016. » *Bulletin des GTV* 84:57-65.
- Martin, P. A., A. R. Cameron, and M. Greiner. 2007. "Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources 1: a new methodology based on scenario trees." *Prev Vet Med* 79 (2-4):71-97. doi: 10.1016/j.prevetmed.2006.09.008.
- Nielsen, K., and J. R. Duncan. 1990. "Epidemiology and Surveillance." In *Animal brucellosis*, edited by K. Nielsen and J. R. Duncan, 131-152. Boca Raton FL: CRC Press.
- Rautureau, S., B. Dufour, M. Jay, and B. Garin-Bastuji. 2013. « Deux cas de brucellose bovine en 2012 appellent à la vigilance. » *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* 59:11-14.
- Stringer, L. A., F. J. Guitian, D. A. Abernethy, N. H. Honland, and F. D. Menzies. 2008. "Risk associated with animals moved from herds infected with brucellosis in Northern Ireland." *Prev Vet Med* 84:72-84.
- Touratier, A., R. de Crémoux, and A. Bronner. 2012. "Differential diagnosis of infectious abortions in ruminants: situation in France." *Bull. GTV* 63:99-104.