

# Analyse de quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements chez les bovins : évaluation de leurs performances et perspectives d'utilisation

Anne Bronner, Didier Calavas (didier.calavas@anses.fr)

Anses, Laboratoire de Lyon, Unité Épidémiologie, Lyon, France

## Résumé

Cet article présente quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements élaborés à partir des données démographiques (dates de vêlages) et de reproduction (dates d'insémination artificielle). Des études exploratoires ont été menées afin d'évaluer leurs performances en matière de surveillance syndromique et les perspectives de leur utilisation pour développer une surveillance complémentaire aux dispositifs actuellement en place. L'utilisation de l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) pourrait permettre d'identifier *a posteriori* les élevages ayant présenté des avortements multiples. En parallèle, la modélisation des variations temporelles et spatio-temporelles des trois autres indicateurs met en évidence la capacité d'outils de surveillance syndromique à identifier la survenue d'événements abortifs. Compte-tenu de ces résultats, l'utilisation des données démographiques et de reproduction permettrait d'améliorer la surveillance des maladies abortives chez les bovins. Il convient désormais que l'ensemble des acteurs impliqués dans la surveillance des avortements chez les bovins se positionne sur l'intérêt d'utiliser ces outils et d'engager éventuellement les réflexions approfondies nécessaires pour leur mise en œuvre pratique.

## Mots-clés

Surveillance syndromique, maladies abortives, bovins, brucellose

## Abstract

**Analysis of four indirect indicators for detecting abortions among cattle: performance assessment and perspectives for use**

*This paper presents four indirect indicators devised to detect bovine abortions using demographic (calving) and reproductive (artificial insemination) data, research studies we conducted to assess the performance of syndromic surveillance systems based on these indicators, and their use as a complementary tool for cattle abortion surveillance. The calving interval could be used to retrospectively identify farms with multiple abortions. In addition, by modeling the temporal and spatio-temporal variations of the three other indicators, we highlighted the ability for syndromic surveillance systems to identify abortive events. Based on these results, the use of demographic and reproductive data could help to improve the surveillance of aborting diseases among cattle. There is now a need for stakeholders involved in cattle abortion surveillance to express their views regarding the advantages of these tools, and state whether it is worth starting in-depth discussions on practical issues related to their implementation.*

## Keywords

Syndromic surveillance, Abortive diseases, Cattle, Brucellosis

La surveillance des maladies animales exotiques (*i.e.* actuellement absentes du territoire) abortives chez les bovins, parmi lesquelles figure la brucellose, constitue un cas emblématique de système<sup>(1)</sup> de surveillance à faire évoluer. La France est indemne de brucellose bovine depuis 2005, et la surveillance vis-à-vis de cette maladie a pour objectif premier de détecter tout nouveau foyer. Cette surveillance, qui repose principalement sur la surveillance événementielle restée inchangée depuis 1965, est basée sur le dispositif<sup>(2)</sup> de déclaration obligatoire des avortements (DA). Toutefois, ce dispositif manque d'efficacité : il présente une forte sous-déclaration, liée à une faible acceptabilité par les acteurs de terrain (Bronner *et al.*, 2014a; Bronner *et al.*, 2013), pour un coût annuel estimé de 3,7 M€ (Hénaux *et al.*, 2015). En outre, cette détection de nouveaux foyers reste spécifique de la brucellose, alors que les avortements peuvent être révélateurs d'autres maladies exotiques d'intérêt sanitaire majeur, telles que la fièvre de la vallée du Rift ou la fièvre catarrhale ovine (FCO).

Dans le cadre de la Plateforme ESA, le groupe de suivi « Déclaration des avortements chez les ruminants » réfléchit actuellement aux perspectives d'évolution de la surveillance de la brucellose chez les bovins, avec la révision du protocole de surveillance réglementé d'une part, et le développement d'un protocole national de diagnostic différentiel des avortements d'autre part. Ce protocole consiste à rechercher certaines maladies abortives enzootiques en cas d'avortements répétés (2 avortements en 30 jours dans le troupeau, ou 3 avortements au cours d'une saison de reproduction) (Touratier *et al.*, 2013). En répondant aux besoins directs des éleveurs, et faisant appel

à l'expertise technique des vétérinaires (que ce soit pour la recherche de l'étiologie abortive ou la mise en place de mesures de maîtrise qui en découle), ce dispositif devrait à terme contribuer à améliorer la DA.

En parallèle, les données relatives aux naissances d'animaux enregistrées depuis 2001 dans la Base de données nationale d'identification (BDNI) du ministère chargé de l'Agriculture, auxquelles s'ajoutent pour certains élevages des données d'insémination artificielle (IA) dans le Système national d'information génétique (Snig), constituent des sources d'informations fiables et robustes, pouvant être utilisées à des fins de surveillance syndromique (SSy)<sup>(3)</sup> (Triple-S. Project, 2011).

L'objectif de cet article est de présenter quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements, élaborés à partir des données démographiques et de reproduction, les études exploratoires qui ont été menées afin d'en évaluer les performances en matière de SSy, et les perspectives d'utilisation de la SSy en tant que modalité de surveillance complémentaire aux dispositifs actuellement en place.

## Définition de quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements

Nos hypothèses étaient qu'en cas de diffusion d'une maladie abortive dans la population bovine, le nombre de femelles ré-inséminées augmentait, le nombre de vêlages diminuait au moment où les femelles auraient dû vêler si elles n'avaient pas avorté, et l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) augmentait pour une partie des femelles.

(1) Un système de surveillance regroupe l'ensemble des dispositifs de surveillance ciblés sur la (ou les) même(s) maladie(s).

(2) Un dispositif de surveillance comprend une ou plusieurs activités de surveillance (collecte et centralisation des données, information des acteurs, animation...) conduites de manière continue selon des protocoles formalisés avec un certain niveau de coordination, pour une modalité de surveillance donnée (surveillance événementielle, programmée, syndromique...).

(3) La SSy peut être définie comme le suivi en continu d'un ou plusieurs indicateurs non spécifiques du danger surveillé, permettant d'assurer la détection précoce d'un risque infectieux ou non, déjà connu ou non, ou d'évaluer l'impact ou l'absence d'impact de ce risque sur la santé de cette population. Les méthodes utilisées pour identifier des variations anormales de ces indicateurs sont plus ou moins complexes : elles peuvent reposer sur le dépassement d'une valeur seuil prédéfinie (méthode déterministe), ou faire appel à la modélisation.

**Tableau 1. Présentation des quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements**

Indicateur	Population couverte	Évènement visé (échelle d'étude)
Taux d'avortements précoces (TAP)	Femelles laitières mises à l'IA	Nombre de ré-inséminations 90 à 180 jours après une précédente IA (échelle populationnelle)
Taux d'avortements tardifs (TAT)		Nombre de ré-inséminations plus de 180 jours après une précédente IA (échelle populationnelle)
Taux de vêlages de veaux viables (TVV)	Femelles laitières et allaitantes	Nombre de vêlages de veaux viables (i.e. ne mourant pas dans les 7 jours) (échelle populationnelle)
Intervalle vêlage-vêlage (IVV)	Femelles paires, laitières ou allaitantes	Délai entre 2 vêlages (échelle individuelle)

**Tableau 2. Modalités de calcul des performances de l'IVVs**

		Élevages ayant fait face à des avortements multiples		
		Non	Oui	
Élevages suspectés d'avoir fait face à des avortements multiples (à partir de l'indicateur)	Non	Vrais négatifs (VN)	Faux négatifs (FN)	→ $VPN=VN/(VN+FN)$
	Oui	Faux positifs (FP)	Vrais positifs (VP)	→ $VPP=VP/(VP+FP)$
		↓	↓	
		$Sp=VN/(VN+FP)$	$Se=VP/(VP+FN)$	

Deux indicateurs ont été développés à partir des données d'IA : le taux d'avortements précoces (TAP) et le taux d'avortements tardifs (TAT) (Tableau 1). Ces deux indicateurs n'ont été calculés qu'au sein de la population de femelles laitières, pour laquelle la proportion élevée de femelles mises à l'IA garantissait une couverture suffisante à l'outil de SSy (contrairement aux femelles allaitantes). Deux autres indicateurs ont été développés à partir des données démographiques, pour l'ensemble des femelles laitières et allaitantes : l'IVV et le taux de vêlages de veaux viables (TVV) (Tableau 1). Les détails méthodologiques concernant le développement de ces indicateurs peuvent être trouvés dans différents articles (Bronner *et al.*, 2014b; Bronner *et al.*, submitted; Bronner *et al.*, 2015b).

## Développement et évaluation des performances des quatre indicateurs

### Capacité à identifier les élevages avec avortements multiples

Une approche déterministe simple a été employée, avec l'objectif de définir un IVV seuil (IVVs) permettant de distinguer les femelles ayant avorté tardivement – au-delà de 6 mois – (ces femelles ayant un IVV supérieur à l'IVVs) de celles identifiées comme n'ayant pas avorté tardivement (ces femelles ayant un IVV inférieur à l'IVVs). La période d'étude allait du 1<sup>er</sup> août 2009 au 31 juillet 2010. À l'image des méthodes habituellement utilisées pour les tests de diagnostic, un délai supérieur à 180 jours entre deux IA successives a été considéré comme la référence permettant d'identifier les femelles ayant avorté tardivement. Au sein de la population des femelles mises à l'IA, la distribution de l'IVV des femelles n'ayant pas avorté tardivement et des femelles ayant avorté tardivement a permis de définir l'IVVs qui maximisait le nombre de femelles *correctement* repérées. Cet IVVs a ensuite été utilisé pour identifier les élevages ayant présenté des avortements multiples (i.e. trois femelles ou plus ayant un IVV supérieur à l'IVVs au cours de la campagne) pour se caler sur la définition adoptée dans le protocole national de diagnostic différentiel des avortements. Les performances de l'IVVs (sensibilité Se, spécificité Sp, valeur prédictive positive VPP, et valeur prédictive négative VPN) ont été estimées à l'échelle de l'élevage (Tableaux 2 et 3).

L'IVVs a été estimé à 696 jours chez les vaches laitières et à 726 jours chez les vaches allaitantes. En effet, chez les allaitantes, la médiane de

l'IVV des femelles ayant avorté était plus élevée que chez les laitières (707 jours contre 672 jours), certainement lié à la saisonnalité des vêlages plus prononcée dans cette population.

L'application de l'IVVs à l'ensemble de la population bovine (données BDNI) conduisait à identifier, selon le type de production, entre 2 et 3 % de femelles susceptibles d'avoir avorté, et entre 10 % et 15 % d'élevages susceptibles d'avoir présenté des avortements multiples. En croisant les résultats obtenus à partir de l'IVV seuil avec les données de DA enregistrées dans Sigal, 44 % (n=1913) des femelles – laitières ou allaitantes – ayant fait l'objet d'une DA présentaient un IVV supérieur à l'IVV seuil; 99 % (n=131 111) des femelles présentant un IVV supérieur à l'IVV seuil n'avaient fait l'objet d'aucune DA. À l'échelle des élevages, 5 % (n=1 041) des élevages ayant fait l'objet d'une DA présentaient au moins trois femelles ayant eu un IVV supérieur à l'IVV seuil; et 93 % (n=13 328) des élevages présentant au moins trois femelles ayant eu un IVV supérieur à l'IVV seuil n'avaient fait l'objet d'aucune DA. Le fait que le dispositif de DA permette d'identifier des avortements non identifiés à partir de l'IVV seuil s'explique par le fait que l'IVV ne concerne que les femelles paires vêlant après avoir avorté d'une part, et d'autre part car ses performances imparfaites.

### Capacité de détection rétrospective d'évènements sanitaires

Pour évaluer cette capacité, nous avons modélisé de manière rétrospective les variations temporelles du TAP lors de l'épizootie de FCO due au sérotype 8 (FCO-8) survenue en 2007 et 2008. Plus précisément, il s'agissait d'étudier le lien entre le nombre de foyers cliniques de FCO-8 déclarés et les variations hebdomadaires du TAP entre le 1<sup>er</sup> août 2004 et le 31 juillet 2010. Un modèle a été sélectionné dans chaque département, en distinguant les femelles nullipares et les femelles paires.

Les résultats indiquent que l'épizootie de FCO-8 a conduit à une augmentation du TAP dans 44 % des départements retenus dans l'étude pour les nullipares, et dans 68 % des départements retenus pour les paires. Chez les nullipares, chaque foyer clinique de FCO-8 conduisait à une augmentation moyenne du TAP de 3,8 % (min-max: 0,2 % - 57,9 %) 8 à 13 semaines suivant sa déclaration. Chez les paires, chaque foyer clinique de FCO-8 conduisait à une augmentation moyenne de 1,7 % (min-max: 0,1 % - 14,4 %) 6 à 12 semaines suivant sa déclaration.

### Capacité de détection prospective d'évènements sanitaires à une échelle temporelle

Des modélisations de type prospectif ont permis de mimer, à une échelle hebdomadaire, le suivi en temps quasi-réel des TAP, TAT et TVV, et de rechercher des variations temporelles anormales de ces indicateurs au cours de l'épizootie de FCO-8. Le principe de ces analyses

**Tableau 3. Performances de l'IVVs pour les élevages bovins laitiers et les élevages bovins allaitants (en %)**

	Se	Sp	VPP	VPN
Elevages laitiers	56,1	96,4	33	98,6
Elevages allaitants	50	99	27,4	99,6

est de calibrer un modèle au cours d'une période sans évènement sanitaire notable (dans notre cas, avant l'arrivée de la FCO-8), puis de l'utiliser pour prédire les valeurs des indicateurs au cours de la période d'intérêt (dans notre cas, la période de circulation de la FCO-8), et de les comparer aux valeurs observées. Les variations temporelles des trois indicateurs ont été analysées de manière indépendante dans chaque département. Une alerte statistique était émise dès lors que l'écart entre les valeurs prédites et les valeurs observées était significatif.

Entre 45 % et 86 % des départements inclus dans l'étude ont présenté, au cours de la période de circulation de la FCO-8, une augmentation anormale du TAP ou du TAT, ou une diminution anormale du TVV. La proportion de départements ayant présenté des alertes était significativement plus élevée en période de circulation de la FCO-8 qu'en période d'absence de circulation de la FCO-8: par exemple, à partir de l'analyse du TVV chez les allaitantes pares, des alertes ont été identifiées en période de circulation de la FCO-8 dans 83 % des départements, contre 19 % des départements en période d'absence de circulation de la FCO-8. Le délai moyen de déclenchement d'une alerte, après la déclaration du premier foyer clinique de FCO-8, était de 16 à 45 semaines selon les indicateurs et les catégories de femelles étudiés.

### **Capacité de détection prospective d'évènements sanitaires à une échelle spatio-temporelle**

La modélisation temporelle à l'échelle de départements constituait une première approche, mais elle comportait deux biais méthodologiques: i) la taille de la population bovine est très variable entre départements, ce qui conduit à une puissance statistique hétérogène<sup>(4)</sup>, ii) les alertes liées à des évènements sanitaires notables sont corrélées les unes aux autres, dans le temps et dans l'espace. Pour pallier ces biais, une approche spatio-temporelle a été développée et appliquée à des unités géographiques « iso-populationnelles » (UIP), c'est-à-dire comportant approximativement le même nombre de bovins. En prenant en compte une corrélation spatiale entre unités, les évènements sanitaires localisés, qui auraient pu entraîner des variations isolées de l'indicateur dans le temps et dans l'espace, n'étaient donc pas identifiés comme des alertes, permettant un gain de spécificité. L'analyse à l'échelle d'UIP permettait d'homogénéiser la capacité à identifier les variations anormales de l'indicateur suivi (Altman and McDonald, 2011; Cirincione *et al.*, 2000). À titre d'exemple, cette approche a été appliquée au TVV chez les femelles allaitantes pares, une catégorie pour laquelle le besoin de renforcer la surveillance des avortements est particulièrement fort, compte-tenu de la faible capacité de détection des avortements et de la faible sensibilité de la DA.

Des regroupements (*clusters*) spatio-temporels de déficits de vêlages ont été recherchés au cours de l'épizootie de FCO sur l'ensemble du territoire. La capacité à identifier ces clusters en lien avec l'épizootie de FCO a été étudiée en calculant la proportion d'UIP intégrées dans un cluster au cours de leur saison de vêlages de primo-infection par la FCO (SVP, correspondant à la saison de vêlages pendant laquelle la FCO était arrivée dans chaque UIP). Cette proportion a été étudiée en fonction de la date d'arrivée de la FCO et de la prévalence des foyers cliniques de FCO dans cette unité. Les unités ont été distinguées en fonction de l'année au cours de laquelle elles avaient été primo-infectées par la FCO (2007 ou 2008).

Parmi les 84 UIP primo-infectées par la FCO en 2007, 28 % avaient été intégrées dans un cluster au cours de leur SVP, en moyenne 30 semaines après le premier cas de FCO déclaré. Cette proportion était de 87 % parmi les 211 UIP primo-infectées par la FCO en 2008, ces unités étant intégrées dans un cluster en moyenne 25 semaines après le premier cas de FCO déclaré. La probabilité qu'une UIP soit intégrée dans un cluster au cours de sa SVP était plus élevée lorsque, au cours de cette saison, la prévalence de la FCO était élevée dans cette unité (moyenne de 35 % dans les UIP primo-infectées au cours

de la vague de FCO de 2007), et lorsque le premier cas de FCO avait été déclaré précocement au cours de la saison de vêlages (moyenne de 10 semaines après le début de la saison de vêlages dans les UIP primo-infectées en 2007).

## **Perspectives d'utilisation d'outils de surveillance syndromique**

### **Analyse des biais d'interprétation et limites des indicateurs**

Les indicateurs élaborés à partir des données démographiques (IVV, TVV) permettent de couvrir l'ensemble de la population bovine, alors que les indicateurs élaborés à partir des données de reproduction (TAP et TAT) ciblent les femelles laitières mises à l'IA. Toutefois, pour ces quatre indicateurs, sont de fait exclues de cette surveillance les femelles envoyées à l'abattoir ou mortes: i) juste après leur avortement ou avant d'avoir été ré-inséminées (pour les TAP et TAT), ii) avant le moment où elles auraient dû vêler (pour le TVV), iii) avant d'avoir vêlé à nouveau (pour l'IVV). Ainsi, si au cours d'un évènement sanitaire abortif, les éleveurs ont davantage tendance à réformer les femelles ayant avorté, cet évènement pourrait être non détecté ou difficilement détectable.

L'IVV et le TVV permettent de détecter des avortements quel que soit le stade de gestation. Mais certains évènements sans rapport avec des maladies abortives peuvent également faire varier ces indicateurs, en particulier à l'échelle de l'élevage: par exemple, l'IVV peut être allongé si l'éleveur retarde la mise à la reproduction pour allonger la durée de lactation des femelles de son troupeau.

Les TAP et TAT permettent de cibler certains avortements. Mais selon les délais de ré-insémination, le TAP peut également identifier des femelles ayant eu des troubles de la fertilité. Le TAT permet quant à lui de détecter la survenue d'avortements au-delà de six mois de gestation, mais il englobe également une part d'avortements plus précoces, qui n'auraient pas été détectés par le TAP en raison de délais de ré-insémination longs.

### **Utilisation de l'IVV seuil**

Le suivi de l'IVV au niveau populationnel, sans être un outil de contrôle, permettrait de suivre la mise en œuvre de la DA. Certes, les performances de l'IVVs ne sont pas parfaites, et les élevages ayant présenté des avortements multiples ne pourront être identifiés que plusieurs mois après ces avortements, le temps pour les femelles ayant avorté d'être remises à la reproduction et de vêler à nouveau. Mais la faible valeur prédictive positive est en particulier à relativiser, car une forte proportion d'élevages suspectés à tort d'avoir fait face à des avortements multiples ont néanmoins fait face à un ou deux avortements au cours de la campagne. En outre, le suivi de l'IVV représente un outil généraliste et aisément applicable à l'ensemble des élevages pour identifier ceux qui auraient dû participer au dispositif de DA. Ces élevages pourraient faire l'objet d'un rappel à la réglementation, d'investigations vis-à-vis de la brucellose en tant que de besoin, et d'une incitation à mettre en œuvre à l'avenir le protocole de diagnostic différentiel s'ils ne l'avaient déjà fait.

### **Utilisation des TAP, TAT et TVV**

Le recours à ces trois indicateurs pourrait permettre d'évaluer rétrospectivement l'impact d'un évènement sanitaire, à l'exemple de l'étude rétrospective conduite avec le TAP pour la FCO, laquelle pourrait être reproduite, selon les besoins, avec les deux autres indicateurs. Ces trois indicateurs pourraient également être utilisés pour identifier de manière prospective un évènement sanitaire abortif. L'analyse prospective des variations spatio-temporelles d'un indicateur à l'échelle d'unités iso-populationnelles peut être considérée comme l'approche la plus aboutie, et correspond au type d'analyse qu'il conviendrait de mettre en place en situation réelle. L'étude menée pour le TVV pourrait être appliquée aux deux autres indicateurs, TAP et TAT.

(4) La puissance statistique correspond à la capacité d'identifier une association entre deux variables (ex entre le nombre de foyers de FCO-8 et le TAP), si cet effet existe. Elle dépend de la taille de la population sous-jacente et de la force du lien entre les deux variables.

D'après les études conduites, la détection de la FCO n'aurait été possible que plusieurs semaines après son arrivée, et uniquement dans le cas d'une prévalence élevée (35 % des troupeaux touchés dans les unités primo-infectées en 2007). Les délais de détection s'expliquent par le recours à des indicateurs indirects de la survenue d'avortements. En effet, le délai entre la survenue de l'avortement et l'augmentation des ré-inséminations ne peut être inférieur à 21 jours, délai de retour en chaleur (pour les TAP et TAT), et le délai entre la survenue de l'avortement et l'absence de vêlage au moment prévu si la femelle n'avait pas avorté peut aller jusqu'à neuf mois (pour le TVV). Dans certaines conditions, la détection pourrait être plus rapide, et après un niveau d'exposition plus faible à l'évènement sanitaire que dans le cas de l'épizootie de FCO (Bronner *et al.*, 2015a) : cas d'une maladie à risque abortif élevé, introduite alors que la taille de la population surveillée est maximale (*i.e.*, pour le TVV, proche du pic de vêlages), et conduisant à des avortements avant six mois de gestation (pour le TAP) ou tardifs (pour les TAT et TVV). Par ailleurs, ces délais sont à confronter avec ceux nécessaires pour détecter un foyer de brucellose à partir du dispositif actuel de DA, qui peuvent aller jusqu'à plusieurs mois compte-tenu de la sous-déclaration (Yamamoto *et al.*, 2008).

## Vers un système de surveillance intégrée des maladies abortives chez les bovins ?

Au vu des travaux réalisés, il apparaît que l'utilisation des données démographiques et de reproduction permettrait d'améliorer la surveillance des avortements chez les bovins. Plus globalement, dans un contexte où les risques d'apparition de maladies exotiques ou émergentes et des formes épidémiocliniques qu'elles revêtiraient sont très difficilement prévisibles, il semble nécessaire de travailler à la conception d'un système de *surveillance intégrée* des maladies abortives chez les bovins, qui associerait plusieurs modalités de surveillance (Calavas *et al.*, 2015) : une surveillance événementielle renforcée (basée sur une DA « revisitée » et incluant l'articulation avec le protocole de diagnostic différentiel des maladies abortives enzootiques), une SSy (à partir des indicateurs étudiés), une surveillance programmée (dont il conviendrait d'étudier les améliorations possibles), et une surveillance clinique non ciblée du cheptel pour couvrir les manifestations cliniques non couvertes par les trois autres dispositifs.

Un tel système permettrait de couvrir différents dangers sanitaires (connus – comme la brucellose ou la fièvre de la vallée du Rift – ou non), se manifestant sous forme clinique ou asymptomatique, et d'un point de vue épidémiologique sous forme sporadique, épizootique ou diffuse (*i.e.* touchant plusieurs élevages mais avec une faible prévalence intra-élevage). La surveillance des formes cliniques de dangers sanitaires connus reposerait sur la surveillance événementielle et la SSy. Pour les maladies pouvant circuler sous forme latente dans la population (par ex. brucellose), cette surveillance serait complétée par une surveillance programmée ciblée (si possible basée sur le risque). En parallèle, les dangers sanitaires émergents pourraient être détectés à partir de la SSy et d'une surveillance clinique non ciblée. La surveillance des formes latentes de ces dangers émergents, inconnus *a priori*, ne serait par définition pas possible. Enfin, d'autres dangers

sanitaires pourraient être détectés au travers de la SSy : même si en temps normal, aucune surveillance ne se justifie à leur égard, le fait qu'ils puissent entraîner une augmentation anormale d'un indicateur justifierait des investigations et, si besoin, la mise en œuvre de mesures de maîtrise ou de lutte.

\*\*\*\*\*

Les éléments présentés dans le cadre de cet article sont issus de travaux de recherche et aboutissent à une « preuve de concept » sur l'intérêt d'utiliser des indicateurs indirects de survenue des avortements chez les bovins. Les résultats de ces recherches sont désormais dans les mains de l'ensemble des acteurs impliqués dans la surveillance des avortements chez les bovins, qui pourront se positionner en connaissance de cause sur l'intérêt de ces outils et engager éventuellement les réflexions approfondies nécessaires pour leur mise en œuvre pratique.

## Références bibliographiques

- Altman, M., McDonald, M., 2011. BARD: Better automated redistricting. *J Stat Softw* 42.
- Bronner, A., Dupuy, C., Sala, C., Calavas, D., Perrin, J.-B., 2015a. La surveillance syndromique peut-elle renforcer la détection précoce des maladies exotiques et émergentes ? *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* 66, 55-59.
- Bronner, A., Hénaux, V., Fortané, N., Hendriks, P., Calavas, D., 2014a. Why do farmers and veterinarians not report all bovine abortions, as requested by the clinical brucellosis surveillance system in France? *BMC Vet Res* 10.
- Bronner, A., Hénaux, V., Vergne, T., Vinard, J.-L., Morignat, E., Hendriks, P., Calavas, D., Gay, E., 2013. Assessing the mandatory bovine abortion notification system in France using unilist capture-recapture approach. *PLoS One* 8, e63246.
- Bronner, A., Morignat, E., Madouasse, A., Calavas, D., 2014b. Surveiller les avortements chez les bovins à partir des données démographiques et de reproduction : un complément à la déclaration obligatoire ? *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* 65, 6-11.
- Bronner, A., Morignat, E., Madouasse, A., Gasqui, P., Gay, E., Calavas, D., submitted. Utilisation des données d'insémination artificielle afin d'identifier l'impact d'un évènement abortif dans les élevages de bovins laitiers. *Inra Prod. Anim.* 2015, 28 (3), 243-250.
- Bronner, A., Morignat, E., Madouasse, A., Gay, E., Calavas, D., 2015b. Devising an indicator to detect mid-term abortions in dairy cattle: a first step towards syndromic surveillance of abortive diseases. *PLoS One* 10, e0119012.
- Calavas, D., Bronner, A., Marcé, C., Fédiaevsky, A., Hendriks, P., 2015. Vers une approche intégrée de la surveillance épidémiologique des dangers sanitaires exotiques. *Epid et santé anim* 67, 109-118.
- Cirincione, C., Darling, T., O'Rourke, T., 2000. Assessing south Carolina's 1990s congressional districting. *Polit Geogr* 19, 189-211.
- Hénaux, V., Bronner, A., Perrin, J.-B., Touratier, A., Calavas, D., 2015. Evaluation du coût global du dispositif de surveillance de la brucellose bovine. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* 69, 28-35.
- Touratier, A., Lars, F., Rautureau, S., Bronner, A., Portejoie, Y., Audeval, C., Guatteo, R., Joly, A., 2013. Elaboration d'un protocole national de diagnostic différentiel des avortements chez les bovins. *Bull des GTV Hors Série* 2013, 75-82.
- Triple-S. Project, 2011. Assessment of syndromic surveillance in Europe. *Lancet* 378, 1833-1834.
- 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.