



HAL
open science

Modélisation de la mortalité bovine dans un objectif de surveillance épidémiologique

Jean-Baptiste Perrin

► **To cite this version:**

Jean-Baptiste Perrin. Modélisation de la mortalité bovine dans un objectif de surveillance épidémiologique. Médecine humaine et pathologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2012. Français. NNT : 2012LYO10275 . tel-00830542

HAL Id: tel-00830542

<https://theses.hal.science/tel-00830542>

Submitted on 5 Jun 2013

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 275-2012
Année 2012

THESE DE L'UNIVERSITE DE LYON

Délivrée par

L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

ECOLE DOCTORALE

Evolution Ecologie Microbiologie Modélisation (E2M2)

Pour l'obtention du
DIPLOME DE DOCTORAT
(arrêté du 7 août 2006)

soutenue publiquement
le 11 décembre 2012

par

M. Jean-Baptiste, Marie, Joseph PERRIN

Modélisation de la mortalité bovine dans un objectif de surveillance épidémiologique

Directeurs de thèse
Didier Calavas et Christian Ducrot

JURY :

M. le Pr René Ecochard	Président
M. le Pr Loïc Josseran	Rapporteur
Mme le Dr Dominique Costagiola	Rapporteur
M. le Dr Gilles Salvat	Membre
M. le Dr Pascal Hendrikx	Membre
M. le Dr Didier Calavas	Directeur de thèse
M. le Dr Christian Ducrot	Directeur de thèse

A la mémoire de mon père, Henri-Joseph Perrin

Remerciements

Je tiens tout d'abord à adresser mes plus vifs remerciements à Didier Calavas, qui m'a donné l'opportunité de réaliser cette thèse et a guidé mes pas tout long de ce projet. Je le remercie particulièrement pour sa direction avisée et exigeante, son investissement, sa disponibilité et ses relectures plus qu'attentives.

J'adresse ma profonde reconnaissance à Christian Ducrot qui a accepté d'encadrer cette thèse et dont la compétence scientifique, les réflexions et les conseils toujours pertinents ont permis à nos travaux d'aboutir.

Je remercie également Pascal Hendrikx d'avoir participé à l'encadrement de mon travail et d'avoir partagé avec moi son expertise en matière de surveillance.

Je suis heureux que mes nouvelles fonctions me permettent de continuer à collaborer avec vous trois.

Je remercie Dominique Costagliola et Loïc Josseran qui m'ont fait l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse.

Je remercie René Ecochard qui a accepté de présider le jury de cette thèse et Gilles Salvat qui m'a fait l'honneur d'en être l'un des examinateurs.

Mes remerciements vont aussi aux agents de la DGAI et particulièrement Alexandre Fediaevsky, André Gauffier, Régis Dutot et Amélie De Nonancourt pour leur assistance tout au long de ce projet.

J'exprime également ma gratitude au personnel de l'ENSV et notamment à Olivier Faugère, Michel Mas et Bruno Hachler.

Je voudrais dire aussi ma reconnaissance à ceux qui ont participé au pilotage de cette thèse, et notamment Frédéric Bellanger et les autres membres du SIFCO, Grégoire Rey, Gilles Pison et Didier Boisseleau.

Enfin je ne saurais oublier ici celles et ceux qui ont été mes collègues pendant ces quatre belles années passées à l'Anses, et qui ont contribué à l'aboutissement de cette thèse en partageant avec moi leur précieuse expérience et en rendant mon environnement de travail si agréable. Merci à Anne Bronner, Géraldine Cazeau, Myriam Chazel, Agnès Chergui, Céline Dupuy, Emilie Gay, Nathalie Jarrige, Bénédicte Lafanechère, Corinne Lazizzera, Pauline Martin, Eric Morignat, Christelle Philippon, Vérane Roig, Carole Sala, Corinne Scotto, Christian Théallier, Jean-Luc Vinard, et tous les autres collègues que j'ai croisés à l'Anses ou à l'Inra et qui m'ont aimablement accordé de leur temps.

Je remercie enfin pour leur soutien sans faille tous les membres de ma famille, qui, à l'heure où j'écris ces lignes, a le bonheur de s'agrandir avec l'arrivée de la petite Maëlle.

*L'irrégularité, l'anomalie, ne sont pas conçues comme des accidents affectant l'individu,
mais comme son existence même*

Georges Canguilhem, 1951

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	17
LISTE DES TABLEAUX	19
LISTE DES FIGURES	21
INTRODUCTION	25
Chapitre 1. LA SURVEILLANCE SYNDROMIQUE	29
1 Principe de la surveillance syndromique	30
1.1 Définitions	30
1.1.1 Symptôme, syndrome	30
1.1.2 Surveillance syndromique	31
1.1.3 Une définition aux contours flous et évolutifs	33
1.2 Objectifs	34
1.2.1 Détection de menaces sanitaires	34
1.2.2 Evaluation de l'impact d'un évènement identifié	35
1.2.3 Autres bénéfices	35
1.3 Fonctionnement	36
1.3.1 Indicateurs	36
1.3.2 Mode de collecte	38
1.3.3 Méthodes d'analyse	39
1.3.4 Interprétation et exploitation des résultats	39
1.4 Intérêt et faisabilité en santé animale	40
1.4.1 Aboutissement du diagnostic en médecine vétérinaire	40
1.4.2 Disponibilité des données	40
1.4.3 Lien avec la santé humaine	41
2 Méthodologie de la détection d'anomalies employée en surveillance syndromique	45
2.1 Classification des algorithmes	45
2.2 Approches temporelles	46
2.2.1 Principe général	46
2.2.2 Choix de la période de référence	46
2.2.3 Gestion des points atypiques	47
2.2.4 Décomposition et stationnarisation	48
2.2.5 Détection	49
2.3 Approches spatiales	55
2.3.1 Principe général	55
2.3.2 Modèles de distribution	56
2.3.3 Ajustement sur des co-variables	56
2.3.4 Intérêts et limites	56
2.4 Approches spatio-temporelles	57
2.5 Mesure des performances	57

2.5.1	Indicateurs et méthode d'évaluation	57
2.5.2	Influence de la calibration.....	57
2.5.3	Influence du niveau de base et du signal	58
2.5.4	Comparaison des performances de différents algorithmes	59
3	Inventaire des dispositifs existants ou en développement en santé animale	60
3.1	Inventaire des dispositifs hors Union européenne.....	60
3.1.1	Revue de la littérature	60
3.1.2	Systèmes basés sur le suivi de données cliniques (symptômes, syndromes, mortalité)	61
3.1.3	Systèmes basés sur le suivi d'autres types de données.....	67
3.2	Inventaire des dispositifs dans l'Union européenne	70
3.3	Article 1 : Inventaire des systèmes de surveillance syndromique en Europe (projet Triple-S) : état des lieux actuel et perspectives	72
4	Conclusion sur la surveillance syndromique.....	90

Chapitre 2. LA MORTALITE DES BOVINS EN FRANCE 91

1	Concepts relatifs à la mortalité.....	92
1.1	Abattage, euthanasie et mort naturelle	92
1.2	Distinguer la mortalité normale de la mortalité pathologique.....	92
1.3	Mortalité prématurée et mortalité évitable	93
1.4	Mortalité de référence.....	93
2	Données disponibles	94
2.1	Le registre national d'identification et des mouvements.....	94
2.1.1	Réglementation européenne	94
2.1.2	La Base de données nationale d'identification bovine (BDNI).....	95
2.1.3	Notification des sorties pour cause de mort	96
2.1.4	Données contenues dans la BDNI	96
2.1.5	Traitement des données	97
2.2	Le registre national de l'équarrissage	98
2.2.1	Réglementation européenne	98
2.2.2	Organisation et financement de l'équarrissage en France	99
2.2.3	Le système d'échange de données informatisées sur les sous-produits animaux (EDI-SPAN)	100
2.2.4	Données contenues dans l'EDI-SPAN	101
2.2.5	Traitement des données	104
2.3	Information sur les causes de mort	105
3	Structure et dynamique de la population bovine française.....	106
3.1	Des flux populationnels contrôlés.....	106
3.1.1	Vêlages.....	106
3.1.2	Abattages.....	109
3.1.3	Mouvements commerciaux	110
3.1.4	Conséquences.....	113
3.2	Estimation des temps de présence cumulés.....	113
3.2.1	Algorithmes de calcul.....	113
3.2.2	Répartition spatiale de la population bovine en France.....	114
3.2.3	Variations saisonnières de la population bovine.....	115
4	Analyse et modélisation de la mortalité	118
4.1	Indicateurs de mortalité.....	118
4.1.1	Taux de mortalité.....	118
4.1.2	Taux standardisés	118

4.1.3	Risque de mortalité.....	119
4.2	Article 2. Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009	120
4.3	Répartition spatiale de la mortalité bovine	131
4.3.1	Unité spatiale d'étude.....	131
4.3.2	Taux bruts de mortalité.....	131
4.3.3	Taux de mortalité standardisés.....	132
4.3.4	Interprétation des disparités observées	136
4.4	Analyse de la mortalité bovine par département.....	137
4.4.1	Conception des rapports.....	137
4.4.2	Analyse des questionnaires.....	138
4.4.3	Discussion	140
4.5	Retours d'information à l'échelle de l'exploitation	143
4.5.1	Conception des bilans	143
4.5.2	Résultats d'évaluation.....	144
4.5.3	Discussion	146
4.5.4	Conclusion	147
5	Causes de mortalité : classification et description.....	148
5.1	Etude bibliographique.....	148
5.1.1	Mortalité proportionnelle.....	148
5.1.2	Les causes de mortalité néonatale.....	149
5.1.3	Les causes de mortalité post-natale.....	149
5.1.4	Les causes de mortalité des bovins adultes	150
5.1.5	Une synthèse des résultats difficile.....	152
5.1.6	Nomenclatures existantes	153
5.1.7	Possibilités de collecte d'information sur les causes de mortalité en santé animale	156
5.2	Analyse des fiches d'information et de suivi de la mortalité.....	157
5.2.1	Données.....	157
5.2.2	Méthode de classification	157
5.2.3	Principales causes de mort identifiées	158
5.2.4	Tendances saisonnières	163
5.2.5	Bilan de l'analyse	164
5.3	Enquête postale auprès d'éleveurs.....	165
5.3.1	Dessin de l'enquête	165
5.3.2	Description de l'échantillon analysé	167
5.3.3	Causes de mort rapportées en fonction de l'âge et du type de production	168
5.3.4	Vêlage et mort	172
5.3.5	Pratique de l'euthanasie	174
5.3.6	Poursuite de l'analyse.....	177
5.4	Intérêt des causes de mort pour la surveillance épidémiologique.....	178
5.4.1	Amélioration des méthodes de détection d'anomalies.....	178
5.4.2	Surveillance par cause de mort.....	178
5.4.3	Conclusion sur les données disponibles et leur intérêt.....	179
Chapitre 3. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION D'EXCES DE MORTALITE		181
1	Approches rétrospectives et prospectives.....	182
2	Evaluation de l'impact sur la mortalité d'un événement identifié.....	183
2.1	Expériences des dispositifs de surveillance de la mortalité humaine	183
2.2	Présentation des études	184

2.3	Article 3 : Utilisation du registre national d'identification bovine pour estimer la surmortalité lors d'une épizootie : application à un foyer de fièvre catarrhale ovine sérotype 8	186
2.4	Analyse des excès de mortalité en France au cours de l'épizootie de FCO.....	194
2.4.1	Ajustement et prédiction	194
2.4.2	Nombre de morts attendues et observées a l'échelle nationale.....	194
2.4.3	Distribution spatio-temporelle des excès de mortalité.....	196
2.4.4	Discussion	196
2.4.5	Bilan des études et perspectives.....	198
3	Détection d'une menace sanitaire par son impact sur la mortalité.....	199
3.1	Un exemple : la canicule de 2003	199
3.2	Défis posés par la détection précoce à partir des données de mortalité bovine.....	201
3.2.1	Choix de l'unité de surveillance	201
3.2.2	Fréquence des analyses et zones de surveillance	204
3.2.3	Choix d'un algorithme.....	204
3.3	Article 4: Evaluation de l'utilité des données d'identification et d'équarrissage collectées en routine pour la surveillance syndromique.....	206
3.4	Evaluation des performances d'une méthode de détection d'anomalies par simulation	215
3.4.1	Objectif et procédure.....	215
3.4.2	Choix de la méthode de détection d'anomalies à évaluer	215
3.4.3	Méthode d'évaluation	217
3.5	Article 5 : Evaluation des performances d'un algorithme pour détecter des augmentations inhabituelles de la mortalité simulées selon un scénario épizootique	219
3.6	Bilan des études sur la détection précoce et perspectives.....	236
3.6.1	Evaluation de la même méthode avec d'autres signaux	236
3.6.2	Evaluation de la même méthode appliquée à des zones limitées.....	236
3.6.3	Evaluation de méthodes alternatives.....	236
4	Conclusion sur l'identification des excès de mortalité	238

Chapitre 4. DISCUSSION GENERALE : VERS UN DISPOSITIF DE SURVEILLANCE BASE SUR LA MORTALITE ?

1	La mortalité est elle un bon indicateur de surveillance épidémiologique ?.....	240
1.1	Pour la détection de menaces sanitaires.....	240
1.1.1	Disponibilité des données	240
1.1.2	Déteçtabilité des anomalies de mortalité	241
1.1.3	Représentativité de l'indicateur mortalité	243
1.1.4	Précocité d'un dispositif basé sur la mortalité	244
1.1.5	Comparaison par rapport aux performances des dispositifs existants.....	246
1.1.6	Rapport coût-bénéfice	247
1.2	Pour l'évaluation de l'impact sur la mortalité d'un événement identifié	247
1.3	Pour l'amélioration de l'état sanitaire du cheptel et des pratiques d'élevage	248
1.3.1	Détection de pratiques d'élevage inappropriées	248
1.3.2	Analyse globale des tendances	249
2	Proposition d'un dispositif : l'Observatoire de la mortalité bovine	250
2.1	Objectifs	250
2.2	Productions attendues.....	250
2.2.1	Rapports techniques	250
2.2.2	Atlas national	252
2.2.3	Tableaux de bord	252
2.2.4	Notifications d'alerte	253

2.3	Organisation institutionnelle	255
2.3.1	Réorganisation de la surveillance de la santé animale en France	255
2.3.2	Composantes du dispositif	256
2.4	Fonctionnement	258
2.4.1	Collecte, centralisation et validation des données	258
2.4.2	Gestion et analyse des données	262
2.4.3	Diffusion des informations	263
2.4.4	Animation	264
2.4.5	Synergies avec les autres systèmes	265
CONCLUSION.....		267
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		271
ANNEXES.....		285
	Annexe I : Nombre hebdomadaire de mouvements par département entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008	286
	Annexe II : La surveillance syndromique, une nouvelle approche pour la surveillance épidémiologique	297
	Annexe III : Exemple de rapport départemental sur la mortalité : département du Doubs.....	303
	Annexe IV : Exemple de bilan de mortalité à l'échelle de d'exploitation.....	317
	Annexe V : Exemple de tableau de bord (département du Puy de Dôme) des demandes d'enlèvements 319	
	Annexe VI : De quoi meurent les bovins adultes ?	321
	Annexe VI : Production scientifique.....	327

LISTE DES ABREVIATIONS

ATM : Animaux trouvés morts

ADILVA : Association des directeurs et cadres des laboratoires vétérinaires publics d'analyses

BDNI : Base de données nationale d'identification bovine

BMOSIA : Bureau de la maîtrise d'œuvre des systèmes d'information

CDC : Centers for Disease Control and Prevention

CDI : Commission départementale d'identification

CIM : Classification internationale des maladies

CNESA : Comité national d'épidémiosurveillance de la santé animale

CNOPSAV : Comité national d'orientation de la santé animale et végétale

CSDC : Communicable Disease Surveillance Centre

CSDESA : Centre de service de données d'épidémiosurveillance animale

CUSUM : Somme cumulative

DDCSPP : Direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations

DDecPP : Direction départementale en charge de la protection des populations

DDPP : Direction départementale de la protection des populations

DSSV : Direction départementale des services vétérinaires

DGAL : Direction générale de l'Alimentation

DG Sanco : Direction générale santé et consommateurs de la Commission européenne

DGS : Direction générale de la Santé

DSS : Dispositif de surveillance syndromique

EDE : Etablissement départemental de l'élevage

EAHC : *Executive Agency for Health and Consumers* (Agence exécutive pour la santé des consommateurs)

ECDC : *European Centre for Disease Prevention and Control* (Centre européen de prévention et de contrôle des maladies)

EGS : Etats généraux du sanitaire

EPIC : Etablissement public à caractère industriel et commercial

ESB : Encéphalopathie spongiforme bovine

EST : Expertise scientifique et technique

EWMA : *Exponential Weighted Moving Average*

FNGDS : Fédération nationale des GDS

FISM : Fiche d'information et de suivi de la mortalité

FAO : *Food and Agriculture Organization* (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FCO : Fièvre catarrhale ovine

GDS : Groupement de défense sanitaire

GTV : Groupe technique vétérinaire

InVS : Institut de veille sanitaire

IPG : Identification permanente et généralisée

ISDS : *International Society for Disease Surveillance* (Société internationale de surveillance des maladies)

ISVEE: *International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*

LVD : Laboratoire vétérinaire départemental

MUS : Mission des urgences sanitaires

NCASP : National Companion Animal Surveillance Program

NHS : *National Health Service*

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

OMS : Organisation mondiale de la santé

RESPE : Réseau d'épidémiologie-surveillance des pathologies équinnes

RGPP : Révision générale des politiques publiques

SIDA : Syndrome d'immunodéficience acquise

SIGAL : Système d'information de la Direction générale de l'Alimentation

SNGTV : Société nationale des Groupements techniques vétérinaires

SPE : Service public de l'équarrissage

SRAL : Service régional de l'Alimentation

UNICEF : Fonds des Nations unies pour l'enfance

UNSIC : *United Nations System Influenza Coordination* (Bureau du Coordonnateur du système des Nations unies sur la grippe)

VMN : Veaux mort-nés

WCS : *Wildlife Conservation Society*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des champs renseignés dans la table bovins	96
Tableau 2 : Liste des champs renseignés sur les périodes de détention	97
Tableau 3 : Liste des champs renseignés dans la table Liste_appel	102
Tableau 4: Les catégories d'animaux prises en charge.....	102
Tableau 5 : Champs de la table Liste_lvi	103
Tableau 6: Champs de la table Liste_enl	103
Tableau 7 : Nombre de visites en fonction du nombre d'enlèvements par visite	104
Tableau 8 : Nombre d'appels provenant de la même exploitation répétés dans la même journée.....	104
Tableau 9 : Répartition des bovins ayant vécu entre 2005 et 2008 en France selon le nombre de mouvements d'une exploitation à une autre (en gras).....	110
Tableau 10 : Synthèse des remarques spontanément émises par les éleveurs pour chaque partie de la fiche	145
Tableau 11 : Répartition de la mortalité pour 17 exploitations à faible taux de mortalité (groupe T) et 63 exploitations à fort taux de mortalité (groupe C) (en italique, la fréquence de la cause en %) (Jegou, 2006).....	150
Tableau 12: Causes principales de morts naturelles et par euthanasie des vaches laitières déclarées par les propriétaires de 196 vaches lors d'une enquête téléphonique (Thomsen et al., 2004)	150
Tableau 13 : Causes primaires de mort naturelles et par euthanasie déclarées par les propriétaires de 3 115 vaches issues de 2 815 exploitations danoises enregistrées dans la Danish Cattle Database (Thomsen and Sorensen, 2009)	151
Tableau 14 : Fréquence des troubles observés parmi les 73 vaches laitières mortes ou réformées en Bretagne (Faye and Pérochon, 1995)	151
Tableau 15 : Principales causes de morts de bovins identifiées parmi 184 cas (euthanasies et morts naturelles confondues) au Canada (Waldner et al., 2009).....	152
Tableau 16: Liste des chapitres de la classification internationale des maladies	155
Tableau 17 : Nombre de morts notifiés et taux de mortalité par cause et type de production dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001	159
Tableau 18 : Principales causes de mort regroupées dans la catégorie "autres causes"	162
Tableau 19 : Evolution mensuelle des taux de mortalité (pour 1 000 bovins-années) par cause chez les bovins allaitants et laitiers (le mois de janvier 2001 n'a pas été représenté pour cause d'interruption du programme pendant la plus grande partie de ce mois)	163
Tableau 20: Simulation de taux de sondages sur les données EDI-SPAN 2008-2009	166
Tableau 21: Répartition des différentes causes de mort chez les veaux de moins de 20 jours	169
Tableau 22: Précision des "autres causes" chez les bovins de moins de 20 jours	169
Tableau 23: Répartition des différentes causes de mort chez les veaux laitiers et allaitants de 20 jours à six mois	170
Tableau 24: Répartition des différences causes de mort chez les bovins laitiers et allaitants de six mois à deux ans	171
Tableau 25: Répartition des différentes causes de mort chez les bovins laitiers et allaitants de plus de deux ans.....	172
Tableau 26: Répartition des causes détaillées de morts dues à un vêlage difficile chez les vaches laitières et allaitantes de plus de 2 ans	174
Tableau 27: Proportion des bovins de plus de six mois euthanasiés selon les causes de mort	176
Tableau 28 : Nombres de bovins morts (tous âges et types de production confondus) attendus et observés par semestre de 2007 à 2009	195
Tableau 29 : Nombres de morts observés (O) et attendus (E), excès (O-E) et ratios de mortalité (O/E) par catégorie d'âge chez les bovins allaitants en France en 2008	195
Tableau 30 : Nombres de morts observés (O) et attendus (E), excès (O-E) et ratios de mortalité (O/E) par catégorie d'âge chez les bovins laitiers en France en 2008	196

Tableau 31 : Nombre de séries à analyser selon le choix d'agrégation spatiale et populationnelle, dans le cas où la zone d'étude est la France	216
Tableau 32 : Méthodes de détection envisagées pour la recherche d'agrégats d'unités spatiales en excès de mortalité....	237
Tableau 33 : Caractéristiques des différentes sources de données sur la mortalité bovine.....	241
Tableau 34 : Synthèse des données utilisées, des méthodes d'analyse, des documents produits et de leurs destinataires par objectif.....	254

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique des différents usages du terme « syndrome »	31
Figure 2 : Exemple d'indicateurs utilisables pour la surveillance épidémiologique réparti selon leur degré de représentativité (axe horizontal bleu) et l'étendue du spectre d'évènements ciblés par le système (axe vertical rouge)	36
Figure 3 : Exemples d'indicateurs de l'état de santé d'une population utilisés dans le cadre de la surveillance syndromique	38
Figure 4 : Chronologie des signaux produits suite à l'introduction du virus West Nile dans un environnement donné (source : CDC)	44
Figure 5 : Structure générale des algorithmes de détection d'anomalies (Buckeridge et al., 2008). Les ellipses représentent les tâches qui doivent être réalisées et les rectangles représentent les méthodes qui permettent leur réalisation. Les méthodes primitives sont en jaune sombre, tandis que les méthodes complexes sont en jaune clair.	46
Figure 6 : Seuils d'alerte calculés pour les infections à <i>Salmonella</i> Gold Coast avec et sans les outliers (Farrington et al., 1996).....	47
Figure 7 : Exemple de carte de contrôle appliquée aux résidus d'un modèle de Poisson ajusté sur une série obtenue par simulation	49
Figure 8 : Exemple de carte de contrôle CUSUM appliquée à la surveillance de la santé publique (Farrington et al., 1996) ..	50
Figure 9 : Distributions temporelles utilisées pour simuler des foyers (Reis et al., 2003)	59
Figure 10 : Geographic distribution of Banfield Hospitals (•) (n=360) with open circles indicating major metropolitan areas having ≥ 8 Banfield hospitals within 50 mile radius, d'après Moore et al., 2004	61
Figure 11 : Evolution du taux de chiens infestés par les tiques (pour 1000 consultations) et de l'incidence de la maladie de Lyme chez l'homme (par 100 000 personnes), d'après Glickman et al., 2006	62
Figure 12 : Nombre de syndromes respiratoires observés chez les humains et les chats (en provenance d'une seule clinique vétérinaire), d 'après Babin, 2003	62
Figure 13 : Nombre d'appels quotidiens de demandes de ramassage de cadavres de chiens (rouge) et de chats (bleu), d 'après Aslam, 2009.....	63
Figure 14 : Densité de corbeaux morts (DCD) par mile carré et nombre de cas humains de la maladie à virus West Nile (WNV) par semaine en 2002. La droite horizontale indique un DCD de 0.1, F. la date où le premier oiseau confirmé infecté a été trouvé et R. la date où le laboratoire a fourni le résultat pour cet oiseau, d'après (Eidson et al., 2005).	65
Figure 15 : Distribution temporelle des carcasses trouvées dans la forêt située à la frontière entre le Gabon et la République du Congo (2001-2003). D'après (Rouquet et al., 2005).....	66
Figure 16: Map of the number of European veterinary SyS systems identified through Triple-S inventory process.....	76
Figure 17 : Number of systems according to the type of data providers.	78
Figure 18: Representation of modalities equal to 1 of variables of MFA in the two first factorial axis space of MFA.....	80
Figure 19 : Architecture du dispositif d'enregistrement de l'identification bovine (Klopp, 2001).....	95
Figure 20 : Délais de notification (en jours sur l'axe des abscisses) de sortie de bovins pour causes de boucherie (en haut à gauche), pension (en haut à droite), vente (en bas à gauche) et mort (en bas à droite) bleu = laitiers ; orange = allaitants (DGAL, 2009).....	97
Figure 21: Répartition des sites d'équarrissage en France (en 2010). C1, C2, C3 correspondent respectivement aux déchets de catégorie 1, 2 et 3 définis par (Union européenne, 2009).....	100
Figure 22 : Nombre de tournées (axe des ordonnées) en fonction du nombre de visites réalisées (axe des abscisse).....	104
Figure 23 : Distribution des âges au premier vêlage, pour les vaches présentes en France entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008.....	107
Figure 24 : Distribution des âges au premier vêlage, pour les vaches allaitantes (jaune) et laitières (rouge) présentes en France entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008	107
Figure 25 : Nombre hebdomadaire d'entrées 'Naissance', de sorties 'Boucherie', de sorties 'Mortalité', d'importations* et d'exportations* notifiées à la BDNI entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008 en France	108
Figure 26 : Nombre de vêlages (hors veaux mort-nés) au cours de l'année selon le type de production (agrégation des données 2005-2008).....	108

Figure 27 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'abattage des bovins abattus entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, tronquée à 1100 jours).....	109
Figure 28 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'abattage des bovins abattus entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle logarithmique non tronquée)	110
Figure 29 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, abscisse limitée à 1700 jours)	112
Figure 30 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle logarithmique)	112
Figure 31 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, abscisse limitée à 1700 jours)	112
Figure 32 : Calcul du nombre hebdomadaire d'animal-jours pour un groupe d'âge n	114
Figure 33 : Densité de population bovine (en bovins-jours par hectare) par commune en 2005.....	114
Figure 34 : Densité de population bovine par commune en 2005 dans le cheptel allaitant (A) et le cheptel laitier (L).....	115
Figure 35 : Temps de présence hebdomadaire au niveau national en animal-jours	115
Figure 36 : Temps de présence cumulés (en bovins-jours) par semaine et catégorie d'âge pour le Département du Doubs (en bas) et de la Saône-et-Loire (en haut).....	116
Figure 37 : Temps de présence cumulés par semaine et catégorie d'âge dans le cheptel laitier (haut) et allaitant (bas) français	117
Figure 38 : Taux bruts de mortalité humaine à l'échelle des zones d'emploi (hommes à gauche, femmes à droite), 1988-1992 (Salem et al., 1999).....	132
Figure 39 : Taux bruts de mortalité bovine par hexagone en 2005.....	132
Figure 40 : Taux comparatifs (standardisés sur l'âge) masculins de mortalité (25-59 ans) à l'échelle des zones d'emploi sur la période 1988-1992 (Rican et al., 2003).....	133
Figure 41 : Indices comparatifs de mortalité bovine (SMR) par département en 2005, obtenus par standardisation sur l'âge et le type de production (population de référence : population nationale en 2005).....	133
Figure 42 : Indices comparatifs de mortalité (SMR) bovine par hexagone en 2005, obtenus par standardisation sur l'âge et le type de production (population de référence : population nationale en 2005).....	134
Figure 43 : SMR (standardisation sur l'âge et le type de production) par hexagone par année (2005-2008).....	135
Figure 44 : Série hebdomadaire du nombre de morts de bovins dans le Morbihan de 2003 à 2009. Les chiffres sur la courbe indiquent des pics inhabituels identifiés par le modèle. Selon les services vétérinaires locaux, les pics 1, 2 et 3 correspondent à des semaines pendant lesquelles ont été conduits des abattages sanitaires ESB (respectivement, 41, 53 et 9 animaux abattus). Le pic 10 est associé aux conséquences de la FCO, arrivée dans le département en août 2008.....	139
Figure 45 : Exemple de résumé (p.2) d'un rapport départemental sur la mortalité bovine (département 25).....	142
Figure 46 : Répartition des différentes causes de mort chez les bovins allaitants (à gauche) et laitiers (à droite) parmi les 36 424 morts renseignées dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001	159
Figure 47 : Taux de mortalité moyen sur la période d'étude (par 1 000 bovins-années) par cause de mort en fonction du type de production dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001	160
Figure 48 : Distribution des causes de morts dues à un vêlage difficile chez les vaches allaitantes (1 832 cas, à gauche) et chez les vaches laitières (3 920 cas, à droite) dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001	161
Figure 49 : Distribution des causes de mort par syndrome entéritique chez les bovins allaitants (1 020 cas, à gauche) et chez les laitiers (2 004 cas, à droite) dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001	161
Figure 50: Capture d'écran de l'application "Enquête Causes de Mortalité des Bovins"	167
Figure 51 : Délai en jours entre la mort et le vêlage chez les vaches laitières (à gauche) et allaitantes (à droite)	173
Figure 52 : Détail du nombre de vaches mortes dans les 13 jours après le vêlage chez les vaches laitières (à gauche) et allaitantes (à droite).....	173
Figure 53 : Répartition du nombre de morts avec ou sans euthanasie (histogrammes groupés et empilés), chez les bovins laitiers et allaitant, selon le jour de la semaine	176
Figure 54 : Taux hebdomadaires de mortalité observés (2003-2009), ajustés (2003-2006) et prédits (2007-2009) chez les vaches laitières de 2 à 3,5 ans en France	194
Figure 55 : Ratios (multipliés par 100) de mortalité départementaux pour la première semaine de janvier et la première semaine de juillet en 2007, 2008 et 2009 (les dates indiquées sont celles du premier jour de la semaine représentée)	197
Figure 56 : Chronologie de l'alerte lors de la canicule 2003 en santé humaine et animale. Sources : (Institut de veille sanitaire, 2003) et (Etablissements Caillaud, 2003)	200
Figure 57 : Nombre de notifications de sortie pour cause de mortalité notifiées par les éleveurs français à la BDNI entre 2001 et 2006 en France, agrégées selon le jour de la semaine correspondant à la mort.....	202

Figure 58 : Courbes de mortalité journalière à l'échelle nationale, (les points représentant les mêmes jours de la semaine - lundi, mardi etc.- sont reliés entre eux) entre 2001 et 2006.....	203
Figure 59 : Répartition (%) des demandes d'enlèvements au cours de la semaine, par équarrisseur (A à J) en France en 2008	203
Figure 60: Aggregation of cattle mortality data in regular hexagonal grid across France (top) and weekly time series from 2008-11-03 to 2010-02-01 (bottom). The black line in the time series represents observed weekly counts of on-farm deaths for the 65-week test period in hexagon n° 890. The red points represent the three values that were smoothed in this time series after correcting for atypical observations.	222
Figure 61 : Median (and 0.25-0.75 quartile) of the number of total (observed + simulated) deaths (a), of simulated deaths (b), of infected herds (c) and of infected hexagons (d) by week over the 12 weeks following the start of the simulation, among the 100 simulations.....	226
Figure 62 : Distribution of the total number of simulated deaths (a), the number of infected herds (b) and hexagons (c), and duration of the outbreak (d) among the 100 simulations.	227
Figure 63: Cumulative proportion of success (i.e. identification of a cluster containing at least one hexagon with one or more simulated death) by week after the introduction of the disease.....	227
Figure 64: Distribution of the 6 performances indicators for method I among the 100 simulations.....	228
Figure 65 : Etapes chronologiques pour la détection précoce d'événements [d'après (Buehler et al., 2004b)]	245
Figure 66 : Schéma organisationnel de l'Observatoire de la mortalité des animaux de rente	259

INTRODUCTION

Certains auteurs considèrent que l'épidémiologie, c'est à dire la science qui « étudie les divers facteurs conditionnant l'apparition, la fréquence, le mode de diffusion et l'évolution des maladies affectant des groupes d'individus » (OQLF, 1999), est née en Angleterre à la fin du XVI^{ème} siècle, avec l'instauration des bulletins de mortalité, appelés *bills of mortality* (Valleron, 2011). En effet, dès 1592, l'administration londonienne a rendu obligatoire la notification des décès afin de produire des statistiques hebdomadaires et annuelles de mortalité. En 1603, ces bulletins furent enrichis avec des informations sur les causes de décès, puis à partir de 1662 ils firent l'objet de véritables analyses évaluant d'une part les sources d'erreurs qui pouvaient rendre leur interprétation difficile et décrivant d'autre part la régularité des séries de décès et les pics les émaillant (Graunt, 1662). L'observation de ces pics, qui furent attribués à des épidémies récurrentes de peste, permit de comprendre que ces bulletins n'étaient pas simplement des documents administratifs, mais pouvaient constituer un outil d'analyse et d'alerte épidémiologique.

La surveillance de la mortalité n'a depuis jamais cessé de préoccuper les responsables de la santé publique, qui utilisent cet indicateur comme un outil de mesure de l'état de santé global d'une population.

Avec le temps, cet intérêt s'est toutefois particulièrement focalisé sur la surveillance à long terme, notamment pour suivre l'évolution des maladies chroniques, identifier les inégalités de santé, orienter les programmes de santé, etc. Et finalement, alors que des bulletins de mortalité étaient produits et analysés de manière hebdomadaire à Londres dès 1662, l'épidémie de décès due à la vague de chaleur survenue en France en 2003 ne fut que tardivement confirmée car aucune estimation de la mortalité n'était alors disponible en temps réel.

Suite à cette catastrophe sanitaire, des dispositifs de surveillance de la mortalité réactifs furent mis en place en France et dans d'autres pays d'Europe (Josseran et al., 2005; Kanieff et al., 2010). Plus généralement, l'épisode de la canicule a attiré l'intérêt des épidémiologistes européens vers une nouvelle approche en surveillance épidémiologique née quelques années plus tôt aux Etats-Unis : la surveillance syndromique (Lazarus et al., 2001).

La surveillance épidémiologique peut être définie comme le « processus continu et permanent de collecte, d'analyse, d'interprétation et de diffusion des données sanitaires nécessaires à la prise de mesures efficaces en matière de planification, de mise en œuvre et d'évaluation des pratiques en santé publique » (OQLF, 1999). Traditionnellement, les systèmes de surveillance épidémiologique sont dédiés à une maladie en particulier et reposent sur le diagnostic de cette maladie par les laboratoires d'analyse biologique. L'approche syndromique consiste au contraire à surveiller la santé d'une population à partir de données sanitaires peu voire non spécifiques mais rapidement disponibles, comme par

exemple la mortalité mais aussi le nombre et les motifs d'appels aux urgences, le nombre et les motifs de consultations médicales, etc.

L'intérêt des épidémiologistes pour cette approche s'est accru ces dernières années, face à trois constats.

Le premier est que si les dispositifs traditionnels sont potentiellement efficaces vis-à-vis du danger pour lequel ils ont été développés, ils ne sont en revanche capables de détecter que ce qu'ils recherchent. Or, le contexte actuel, caractérisé par la mondialisation des échanges de personnes, d'animaux et de biens (qui sont autant de véhicules ou vecteurs potentiels de maladies), les changements climatiques (susceptibles de modifier la biologie et la distribution de certains vecteurs) et l'augmentation des densités de populations humaines et animales et de leurs contacts, semble particulièrement favorable à l'émergence de nouvelles maladies.

Le deuxième est que les dispositifs de détection précoce basés sur l'identification d'un agent pathogène par des tests biologiques sont coûteux (surtout considérant le nombre de dangers potentiels à surveiller) et peuvent manquer de réactivité, alors que les ressources des institutions publiques en charge de la surveillance des populations ne cessent de se réduire et que la précocité est une qualité essentielle des dispositifs de surveillance.

Le dernier constat est que l'essor remarquable des sciences de l'information depuis les années 1980 a permis la mise en place de dispositifs jusque-là inenvisageables. Le volume de données collectées en routine et représentant de manière plus ou moins directe la santé des populations humaines et animales ne cesse d'augmenter.

Forts de ces constats et des expériences des dispositifs mis en place en santé humaine, des experts du ministère en charge de l'Agriculture et de l'Agence nationale de la sécurité sanitaire des aliments, de l'environnement et du travail (Anses) se sont réunis en 2008 pour discuter de la possibilité de créer des dispositifs de surveillance syndromique vétérinaires. En effet, la Direction générale de l'Alimentation a mis en place depuis la fin des années 90 des systèmes d'information collectant de nombreuses données relatives à la santé animale afin de répondre au besoin de certaines tâches administratives (notamment l'attribution de subventions aux éleveurs, estimées sur la base de la taille de leur cheptel et de leur activité). Aujourd'hui, un très grand nombre de ces données ne sont pas exploitées à des fins de surveillance malgré leur très fort intérêt potentiel d'un point de vue sanitaire.

De ces échanges est né le projet d'Observatoire de la mortalité des animaux de rente (OMAR), une structure qui aurait pour objectif d'utiliser les données déjà disponibles pour produire des connaissances sur la mortalité des animaux de production en France et surveiller la santé de ces populations. Avant de lancer un tel projet, une étude de pertinence et de faisabilité était nécessaire. C'est l'objet de notre travail de thèse.

Notre étude a été limitée à la mortalité dans l'espèce bovine, espèce pour laquelle les données disponibles étaient les plus exhaustives.

Dans une première partie, nous revenons sur le concept de surveillance syndromique, qui est récent et fait encore l'objet de nombreuses discussions, voire de divergences, au sein de la communauté scientifique. Après avoir discuté de la définition de la surveillance syndromique, de son principe, de ses objectifs et des méthodes de détection d'anomalies sur lesquelles cette approche peut se baser, nous présentons les résultats de l'inventaire des dispositifs de surveillance syndromique que nous avons conduit, en nous basant d'une part

sur une étude de la littérature existante et d'autre part sur une enquête menée auprès des experts européens dans le cadre d'un projet cofinancé par la Commission européenne.

Dans la deuxième partie, nous présentons les données disponibles en France sur la mortalité bovine et l'usage que nous en avons fait pour modéliser le niveau de référence de cet indicateur. Nous décrivons tout d'abord les spécificités de la démographie d'une population animale d'élevage dont les flux populationnels sont contrôlés par les éleveurs, et les conséquences sur la mortalité dans cette population. Nous présentons ensuite les résultats de modélisation qui nous ont permis d'identifier les fluctuations systématiques de la mortalité, sa saisonnalité, sa tendance et les facteurs influençant ces caractéristiques. Enfin, nous terminons cette deuxième partie par une étude des causes de mortalité, une information qui n'est pas collectée par les systèmes d'information actuels. Nous décrivons les causes de mortalité par une triple approche : i) une étude bibliographique ; ii) l'analyse d'une base de données constituée en 2001 et contenant plus de 40 000 causes de mort de bovins notifiées par des vétérinaires ; iii) une enquête postale menée sur un an auprès de 50 000 éleveurs de France métropolitaine.

La troisième partie de notre thèse est consacrée à l'identification et la quantification d'excès de mortalité en regard du niveau de référence précédemment défini. Nous analysons d'abord des données réelles pour estimer les conséquences sur la mortalité de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine (FCO), une maladie vectorielle qui a durement touché le cheptel bovin français en 2007 et 2008. Nous proposons ensuite une méthode visant à identifier des regroupements d'unités spatiales présentant des augmentations inhabituelles de mortalité, et évaluons ses performances pour détecter des foyers d'une maladie infectieuse dont nous avons simulé la propagation dans le cheptel bovin.

Enfin, sur la base des différents résultats obtenus, nous discutons dans la quatrième et dernière partie de cette thèse de la faisabilité et de la pertinence d'un dispositif de surveillance de la mortalité bovine, en regard de trois objectifs : détection de menaces sanitaires, évaluation de l'impact sur la santé d'évènements en cours ou passés, et amélioration globale du niveau sanitaire dans les élevages bovins. Nous terminons notre exposé par une proposition de dispositif de surveillance opérationnel, en détaillant ses objectifs ainsi que les moyens à mettre en œuvre et les acteurs à mobiliser pour les atteindre.

CHAPITRE 1.

LA SURVEILLANCE SYNDROMIQUE

Nous revenons dans ce chapitre sur le concept de surveillance syndromique, une approche récente en épidémiologie qui fait encore l'objet de nombreux débats au sein de la communauté scientifique. Après avoir discuté de la définition de la surveillance syndromique, de son principe, de ses objectifs et des méthodes de détection d'anomalies sur lesquelles cette approche peut se baser, nous présentons les résultats de l'inventaire des dispositifs de surveillance syndromique que nous avons conduit à partir d'une étude de la littérature existante et d'une enquête menée auprès d'experts européens.

1 Principe de la surveillance syndromique

1.1 Définitions

Certaines divergences existent dans la communauté scientifique à propos des concepts désignés par les termes de « syndrome » et de « surveillance syndromique ». Il est donc nécessaire de préciser les définitions que nous donnerons dans cet exposé à ces termes.

1.1.1 Symptôme, syndrome

En langue française, le **symptôme** est défini comme « *toute manifestation spontanée d'une maladie, qu'elle soit perçue subjectivement par le malade lui-même, comme une douleur ou un vertige (symptôme subjectif), ou qu'elle puisse être constatée par un observateur (symptôme objectif, appelé couramment signe)* » (Manuila et al., 1972).

Le **syndrome** peut lui être défini comme : « *un ensemble de signes, de symptômes [...] d'apparence a priori disparate mais pouvant être considérés comme constituant une entité*

- *soit en raison d'une uniformité dans l'association des signes et symptômes considérés comme fondamentaux -donc de ce fait reconnaissables- et ce en dépit d'une origine obscure,*
- *soit en raison d'une uniformité dans la pathogénie traduisant l'atteinte d'un organe ou d'un système bien défini, bien que relevant de causes diverses »* (Manuila et al., 1972).

Cette définition distingue donc deux usages du terme syndrome. Dans les deux cas, le terme est utilisé pour qualifier un regroupement particulier de signes et symptômes cliniques. Cette entité clinique est appelée syndrome soit parce que son étiologie est inconnue (ex. syndrome de Parsonage-Turner), soit parce qu'elle peut correspondre à des étiologies diverses (ex. syndrome grippal).

La maladie se distingue donc traditionnellement du syndrome par le fait qu'elle résulte d'une cause spécifique et identifiée. Il existe toutefois de nombreuses exceptions d'usage, principalement dues au fait que le terme syndrome continue fréquemment d'être utilisé après l'élucidation de l'étiologie d'une maladie. C'est le cas par exemple du syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA).

Finalement, le terme syndrome est employé de manière très large, pour décrire un tableau ou une entité clinique pouvant avoir une ou plusieurs étiologies, identifiées ou non (Figure 1).

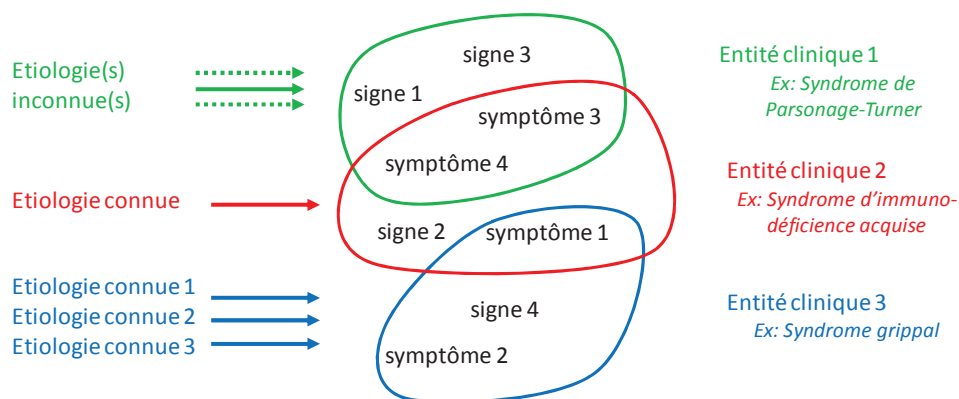


Figure 1 : Représentation schématique des différents usages du terme « syndrome »

En dehors du domaine médical, le terme syndrome est par ailleurs utilisé pour décrire des comportements considérés comme paradoxaux, comme par exemple le syndrome de Stockholm qui décrit le sentiment positif éprouvé par certains otages envers leurs ravisseurs.

1.1.2 Surveillance syndromique

Le concept de surveillance syndromique a été développé à partir de 2001 par des équipes américaines qui recherchaient un moyen de détecter le plus précocement possible les effets d'une éventuelle attaque bioterroriste (Lazarus et al., 2001). Le premier dispositif proposé se basait sur la surveillance des syndromes respiratoires observés chez les patients en consultation aux urgences, d'où l'origine du terme « surveillance syndromique ». Depuis, ce concept a évolué et le Center for Disease Control and Prevention (CDC) a proposé en 2004 la définition suivante (Buehler et al., 2004a):

“an investigational approach where health department staff, assisted by automated data acquisition and generation of statistical alerts, monitor disease indicators in real-time or near real-time to detect outbreaks of disease earlier than would otherwise be possible with traditional public health methods that rely on specific diagnosis”¹

Selon cette définition, les dispositifs de surveillance syndromique (DSS) ont pour objectif de détecter précocement des foyers de maladies. Ils se distinguent des dispositifs de surveillance classique par leur fonctionnement, basé sur :

- l'utilisation d'« indicateurs de maladie » peu ou non spécifiques ;
- une collecte et une analyse des données automatisées et réalisées dans un délai proche du temps réel.

Des groupes de réflexion réunis au cours du symposium international sur l'épidémiologie et l'économie vétérinaire (International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics, ISVEE) en 2009 ont proposé une définition alternative (Hoinville et al., 2009):

“Surveillance that uses health-related data (clinical signs or indirect indicators) that precede formal diagnosis and indicate sufficient probability of a change in the health of the population to warrant further investigation”²

¹ Une approche, basée sur l'automatisation de la collecte et de l'analyse des données, consistant à surveiller des indicateurs de santé en temps réel ou quasi réel dans le but de détecter des foyers de maladie plus rapidement qu'avec des méthodes traditionnelles de surveillance, reposant sur un diagnostic spécifique.

² Surveillance basée sur des données sanitaires (signes cliniques ou indicateurs indirects) qui précèdent le diagnostic formel et révèlent un changement de l'état de santé d'une population suffisant probable pour justifier des investigations

Dans cette définition proposée par des épidémiologistes de santé animale, les références au temps réel et à l'automatisation ont disparu. De même la notion de détection précoce s'efface au profit d'un objectif plus général d'identification de « changements » dans l'état de santé de la population surveillée. L'utilisation d'indicateurs de santé peu spécifiques ou indirects reste en revanche une caractéristique déterminante de la surveillance syndromique.

Cette définition précise en outre que les indicateurs utilisés sont « pré-diagnostiques ». Ce qualificatif est discutable car il ne s'applique qu'au cas particulier des indicateurs collectés chez des patients engagés dans une démarche diagnostique. Par exemple les signes et symptômes cliniques observés chez des patients en consultation d'urgence peuvent effectivement être considérés comme des indicateurs pré-diagnostiques, car la pathologie de ces patients sera probablement identifiée à l'issue de leur prise en charge. En revanche, la fréquence de saisie d'un terme médical dans les moteurs de recherche sur internet peut difficilement être considérée comme un indicateur pré-diagnostique puisque l'état de santé de l'internaute ayant saisi ces termes est inconnu et restera inaccessible. Même pour les patients engagés dans un parcours de soin, il n'est pas rare qu'un diagnostic formel ne soit jamais atteint faute d'investigations supplémentaires (particulièrement en médecine vétérinaire) et que les syndromes observés ne soient jamais formellement attribués à une maladie en particulier. Ainsi la surveillance syndromique peut se réaliser indépendamment de toute démarche diagnostique.

Cette subtilité a été intégrée dans la définition d'un groupe de travail similaire réuni en amont de la Conférence internationale sur la surveillance animale (International Conference on Animal Health, ICAHS) en 2011 (Hoinville, 2011):

“Surveillance that uses health-related data (clinical signs or other data) that may precede or substitute for formal diagnosis; this information may be used to indicate a sufficient probability of a change in the health of the population to deserve further investigation or to enable a timely assessment of the impact of health threats which may require action”¹

Cette nouvelle définition précise que les indicateurs syndromiques peuvent se substituer au diagnostic formel plutôt que de le précéder. De plus, l'objectif d'évaluer l'impact de menaces identifiées vient s'ajouter à celui de détection précoce.

Finalement, le groupe de travail européen Triple-S (cf. paragraphe 3.1), réunissant épidémiologistes de santé animale et humaine, a proposé en 2011 une définition détaillée de la surveillance syndromique (TripleS project, 2011):

“Syndromic Surveillance is the real-time (or near real-time) collection, analysis, interpretation and dissemination of health-related data to enable the early identification of the impact (or absence of impact) of potential human or veterinary public-health threats which require effective public health action.

Syndromic surveillance is based not on the laboratory confirmed diagnosis of a disease but on non-specific health indicators including clinical signs, symptoms as well as proxy measures

¹ Surveillance basée sur des données sanitaires (signes cliniques ou indicateurs indirects) qui précèdent ou remplacent le diagnostic formel ; cette information peut être utilisée pour révéler un changement de l'état de santé d'une population suffisant probable pour justifier de plus amples investigations et permettre l'évaluation rapide de l'impact de menaces sanitaires requérant une intervention

(e.g. absenteeism, drug sales, animal production collapse) that constitute a provisional diagnosis (or "syndrome").

The data are usually collected for purposes other than surveillance and, where possible, are automatically generated so as not to impose an additional burden on the data providers. This surveillance tends to be non specific yet sensitive and rapid, and can augment and complement the information provided by traditional test based surveillance systems.¹

Cette définition, établie dans le cadre d'un inventaire des systèmes européens, tente d'expliquer la singularité des systèmes de surveillance syndromiques par rapport aux systèmes traditionnels. Elle réitère les caractéristiques de fonctionnement proposé par le CDC (collecte, analyse, interprétation et diffusion des résultats en temps réel ou proche du temps réel, usage d'indicateurs non spécifiques) et précise que les données utilisées par les DSS sont souvent déjà collectées à d'autres fins et possiblement produites de manière automatique. Comme dans les définitions proposées par les groupes de réflexion vétérinaires, les objectifs affichés sont élargis et couvrent aussi bien la détection de dangers (même si la notion d'alerte a disparu) que l'évaluation de l'impact (ou l'absence d'impact) d'une menace sanitaire identifiée. Il faut noter par ailleurs que cette définition propose un élargissement du terme « syndrome », qui serait utilisé pour qualifier tous les indicateurs de santé utilisés par les DSS et plus seulement les syndromes cliniques, entendus comme des regroupements de signes et symptômes.

1.1.3 Une définition aux contours flous et évolutifs

Aucune des définitions présentées ci-dessus ne fait réellement l'unanimité dans la communauté scientifique, probablement parce que les contours de cette approche récente sont encore flous.

La différence entre les DSS et certains systèmes de surveillance traditionnels peut sembler ténue. En effet, certains systèmes de surveillance spécifiques sont aussi basés sur l'identification rapide de syndromes cliniques, caractéristiques de la maladie qu'ils ciblent. Mais dans ce cas, la recherche de syndromes n'est qu'une étape préliminaire permettant d'identifier les cas suspects d'une maladie ciblée initialement, chez lesquels on tentera ensuite de mettre en évidence la présence de l'agent pathogène recherché. Dans ces systèmes, les syndromes cliniques ne feront pas l'objet d'une surveillance propre : leur fréquence n'est pas suivie et leur augmentation ne déclenche pas d'alerte. La surveillance de la fièvre aphteuse par exemple repose sur la détection précoce d'une association de symptômes caractérisant la définition du cas suspect. Lorsqu'un cas suspect est notifié, la réalisation de prélèvements et la recherche du virus aphteux sont systématiquement réalisées. Il s'agit bien de surveillance spécifique et non de surveillance syndromique car la

¹ La surveillance syndromique est la collecte, l'analyse, l'interprétation et la diffusion en temps réel (ou quasi réel) de données pour permettre l'identification de l'impact (ou l'absence d'impact) de menaces potentielles pour la santé publique ou animale qui requiert une intervention publique.

La surveillance syndromique est basée non pas sur le diagnostic d'une maladie confirmé par des tests de laboratoire mais sur des indicateurs sanitaires non spécifiques, dont les signes et symptômes cliniques, les syndromes ainsi que d'autres variables de substitution (ex. absentéisme, vente de médicaments, chutes de production animale) qui constituent un diagnostic provisoire (ou « syndrome »).

Les données sont généralement collectées pour d'autres raisons que la surveillance et, lorsque cela est possible, sont générées automatiquement de façon à ne pas imposer une charge supplémentaire aux fournisseurs de données. Cette surveillance tend à être non spécifique mais sensible et rapide, et peut augmenter et compléter l'information produite par les systèmes de surveillance traditionnels basés sur les tests de laboratoire.

surveillance n'est pas fondée sur une collecte systématique de données cliniques sur les cas (boiteries, ptyalisme, vésicules, etc.) observés dans la population, et il n'existe pas de seuil déterminé au delà duquel le nombre de suspicions validées déclenche une alerte.

Si les définitions divergent sur certaines caractéristiques des DSS (automatisation, temps réel, ...), toutes s'accordent en revanche sur le fait que la surveillance syndromique ne se limite plus à la surveillance des syndromes cliniques, mais peut se baser sur une multitude d'indicateurs sanitaires non spécifiques et/ou indirects (cf. paragraphe 1.3.1). De fait, le terme de *surveillance syndromique*, qui fait référence aux premiers systèmes mis en place, prête à confusion. Divers noms ont été proposés en langue anglaise pour décrire ce type de systèmes de surveillance (Henning, 2004): *early warning systems* (système d'alerte précoce), *prodrome surveillance* (surveillance des prodromes), *outbreak detection systems* (systèmes de détection de foyers), *information system-based sentinel surveillance* (surveillance basée sur des sentinelles), *biosurveillance systems* (systèmes de biosurveillance), *health indicator surveillance* (surveillance des indicateurs de santé) et *symptom-based surveillance* (surveillance des symptômes).

Malgré toutes ces tentatives, le terme de surveillance syndromique a persisté. C'est donc ce terme que nous utiliserons dans la suite de cet exposé.

1.2 Objectifs

Au fil du temps, plusieurs objectifs ont été assignés aux DSS. Cette diversification semble traduire la difficulté à atteindre l'objectif initial, à savoir détecter un phénomène inattendu plus tôt et plus efficacement que par d'autres systèmes de surveillance.

1.2.1 Détection de menaces sanitaires

Au contraire des dispositifs de surveillance classiques, qui tentent de détecter une maladie déterminée en mettant en évidence la présence d'un agent pathogène particulier, les DSS tentent de repérer une menace sanitaire par son impact sur l'état de santé global de la population sous surveillance. De ce fait, ils sont supposés pouvoir détecter un large spectre d'évènements.

La plupart des DSS ont été envisagés pour détecter rapidement des phénomènes nouveaux, inattendus (attaques bio-terroristes, émergences de maladies, catastrophes naturelles...). Dans ce cas la surveillance n'est pas orientée et les indicateurs suivis très peu spécifiques (ex. mortalité) pour couvrir un éventail d'évènements le plus large possible. Certains dispositifs de surveillance syndromique sont en revanche orientés et se basent sur des indicateurs non spécifiques, mais hautement suggestifs d'un problème de santé déterminé.

Les DSS sont susceptibles de détecter des évènements sanitaires de multiples natures. Les premiers DSS européens ont été conçus pour détecter notamment les conséquences des vagues de chaleur. Depuis la plupart des projets de surveillance syndromique sont plutôt envisagés pour détecter des foyers de maladie infectieuse. Certains DSS cherchent à détecter l'introduction de maladies exotiques, comme par exemple le Réseau d'épidémiologie-surveillance des pathologies équine, RESPE, qui surveille la fréquence des syndromes neurologiques chez les chevaux pour détecter les cas de maladie de West Nile (Leblond et al., 2010), ou des foyers de maladies endémiques, comme par exemple le dispositif Sursaud® avec le démarrage des épidémies de grippe saisonnière humaine (Josseran et al., 2006). Enfin certains systèmes ont été mis en place avec la volonté de détecter la diffusion

délibérée (bioterrorisme) ou involontaire (accidents industriels) d'agents toxiques dans l'environnement.

Toutefois, faute d'occasion ou d'efficacité, il faut bien reconnaître que rares sont les cas où ces systèmes ont effectivement permis d'identifier de nouveaux dangers plus précocement que les systèmes de surveillance classiques. L'intérêt des DSS n'a toutefois pas été remis en cause, car l'acquisition de données en temps réel sur l'état de santé global de la population a eu d'autres applications non négligeables.

1.2.2 Evaluation de l'impact d'un évènement identifié

Les données collectées par les DSS peuvent permettre d'évaluer l'impact de phénomènes de santé de manière rétrospective ou en temps réel : les DSS mis en place par certaines agences sanitaires britanniques ont par exemple permis de contrôler l'état de santé de la population de l'île lors du passage du nuage de cendres du volcan islandais Eyjafjöll en 2009 (Elliot et al., 2010) : le suivi des motifs d'appels au National Health Service direct (une ligne téléphonique où les patients peuvent entrer en contact avec une infirmière pour recevoir des conseils médicaux) et des motifs de consultations chez des médecins généralistes ont permis de démontrer que cet incident n'était pas accompagné d'une augmentation inhabituelle de symptômes ou syndromes cliniques particuliers (ex. conjonctivite, asthme, infection respiratoire,...). Des systèmes similaires ont permis de suivre la progression de l'épidémie d'influenza A H1N1 la même année dans ce pays (Harcourt et al., 2012).

En mettant rapidement à disposition des autorités de santé des informations sur les conséquences sanitaires éventuelles de phénomènes inattendus et potentiellement dangereux comme la propagation de ce nuage de fumée mais aussi d'autres catastrophes naturelles (inondations, vagues de chaleur) ou de grandes épidémies, la surveillance syndromique peut fournir des éléments de communication aux pouvoirs publics pour rassurer les populations, ou au contraire confirmer la nécessité d'agir et déployer des mesures de prévention et de contrôle adaptées. Selon les expériences passées, la surveillance syndromique semble d'ailleurs plus pertinente pour vérifier l'absence d'impact d'un phénomène que pour en estimer quantitativement l'impact, en raison du problème d'imputabilité des modifications mises en évidence.

1.2.3 Autres bénéfices

La surveillance syndromique peut avoir d'autres applications en parallèle de la détection de menaces sanitaires ou de l'évaluation de l'impact de menaces identifiées.

Les données collectées par les DSS peuvent être utilisées pour surveiller les tendances à plus long terme et révéler des dégradations lentes du niveau de santé d'une population justifiant la mise en place de mesures de prévention.

Les retours d'information réguliers que fournissent ces dispositifs aux acteurs de terrain peuvent contribuer à améliorer la qualité de la notification en montrant à ces derniers que les informations qu'ils transmettent sont importantes.

Enfin, l'instauration d'un flux d'information continu entre les structures de soins et des unités centrales d'épidémiologie permet par ailleurs de renforcer le réseau de surveillance, de le maintenir actif même en dehors de crise sanitaire et de mobiliser plus rapidement les acteurs concernés en cas de nécessité.

1.3 Fonctionnement

1.3.1 Indicateurs

La nature de l'indicateur sur lequel se base la surveillance est la caractéristique centrale distinguant les DSS des dispositifs traditionnels. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les DSS ne se basent pas sur des résultats de tests biologiques mais sur des indicateurs de santé non spécifiques et/ou indirects (Figure 2).

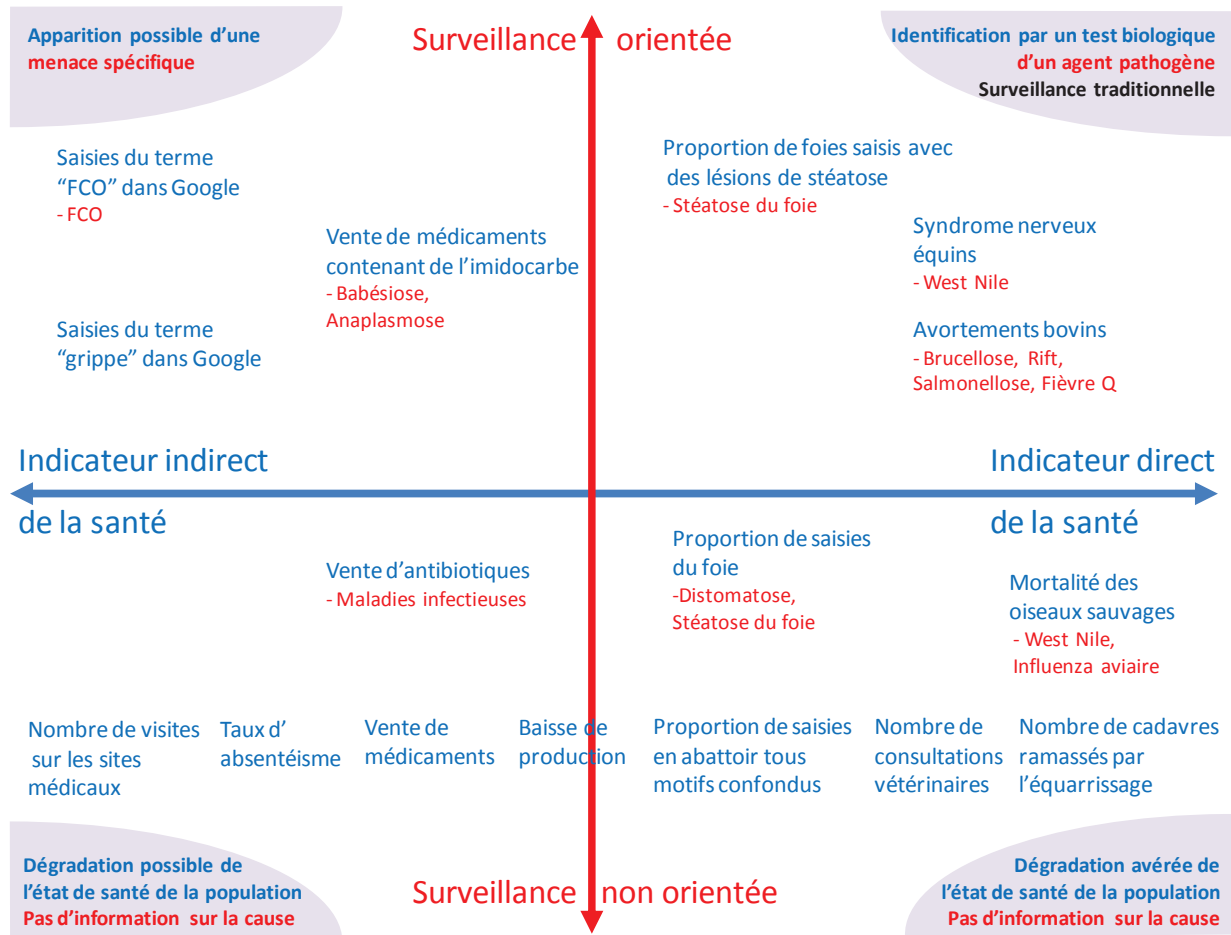


Figure 2 : Exemple d'indicateurs utilisables pour la surveillance épidémiologique réparti selon leur degré de représentativité (axe horizontal bleu) et l'étendue du spectre d'événements ciblés par le système (axe vertical rouge)

Spécificité et représentativité sont deux caractéristiques distinctes. Certains indicateurs syndromiques sont en effet très peu spécifiques mais témoignent directement du niveau sanitaire d'une population (ex. la mortalité toutes causes confondues) tandis que d'autres au contraire sont liés à une maladie particulière mais en reflètent de manière indirecte l'incidence (ex. le nombre de saisies « FCO » dans Google ou les réseaux sociaux).

Plus l'indicateur utilisé sera indirect et moins il sera spécifique (ex. nombre de visites sur un site internet médical), plus longues et onéreuses seront les investigations à mener pour i) confirmer la dégradation de l'état de santé de la population ; et ii) en identifier la cause. A l'inverse, plus l'indicateur utilisé sera direct et spécifique (ex. syndrome nerveux équin, hautement suggestif d'une infection au virus West Nile) plus les investigations seront aisées à mener.

Les indicateurs indirects de la santé sont souvent qualifiés de « variable de substitution » (« proxy » ou « surrogate variable » en anglais) : on surveille une variable qui a peu d'intérêt en elle-même, mais qui est corrélée à une variable d'intérêt à laquelle on ne peut pas accéder directement. Qu'ils soient mis en place dans un objectif de détection précoce ou pour contrôler en temps réel les conséquences potentielles de phénomènes identifiés, les performances et l'intérêt des DSS reposeront fortement sur l'importance de la corrélation entre les fluctuations de l'indicateur utilisé et l'état de santé réel de la population surveillée. Ainsi l'augmentation des requêtes relatives à une maladie dans un moteur de recherche sur internet peut résulter de l'émergence de cette maladie dans la population, mais aussi d'une campagne de communication qui sensibilise la population à cette problématique. De même, les motifs et taux de saisie à l'abattoir peuvent évoluer selon la tension existante sur le marché de la viande et non pas parce que l'état sanitaire des animaux a été modifié.

Moins l'indicateur sera spécifique, plus l'éventail d'évènements couverts et potentiellement détectables sera large (surveillance non orientée). L'utilisation d'un indicateur très peu spécifique pourra en revanche compliquer la détection d'anomalies car le bruit de fond créé par les multiples facteurs de variation sera plus important. Au contraire, plus l'indicateur sera spécifique, moins le bruit de fond sera important et le signal facile à détecter, mais plus la surveillance sera orientée et l'éventail des menaces potentiellement détectables limité.

En santé animale comme en santé humaine, les indicateurs envisageables sont de nature extrêmement variée : symptômes et signes cliniques, syndromes cliniques, motifs de consultation médicale, mortalité, indicateurs de productivité, motifs et taux de saisie en abattoir, vente et administration de médicaments, demandes d'analyses soumises aux laboratoires, requêtes dans les moteurs de recherche sur internet, activités des réseaux sociaux... Les fournisseurs potentiels de ces données en santé animale sont tout aussi variés : écoles et cabinets vétérinaires (animaux de compagnie ou de production), services vétérinaires, abattoirs, centres d'équarrissage, laboratoires, marchés, élevages, parcs naturels, population générale (qui peut jouer le rôle d'observateur de la faune sauvage).

Certains indicateurs syndromiques peuvent être produits au cours du parcours de soins des patients : motifs de consultations, syndromes cliniques observés en consultation, demandes d'analyses, etc. Ces indicateurs sont particulièrement intéressants lorsqu'ils sont disponibles avant le diagnostic final (indicateurs pré-diagnostic). D'autres indicateurs représentent en revanche une population qui n'est pas forcément entrée en contact avec des professionnels de santé (cette information n'est pas connue) et ne le sera peut-être jamais (Figure 3) : ventes de produits de santé, absentéisme, requêtes sur internet, mortalité.

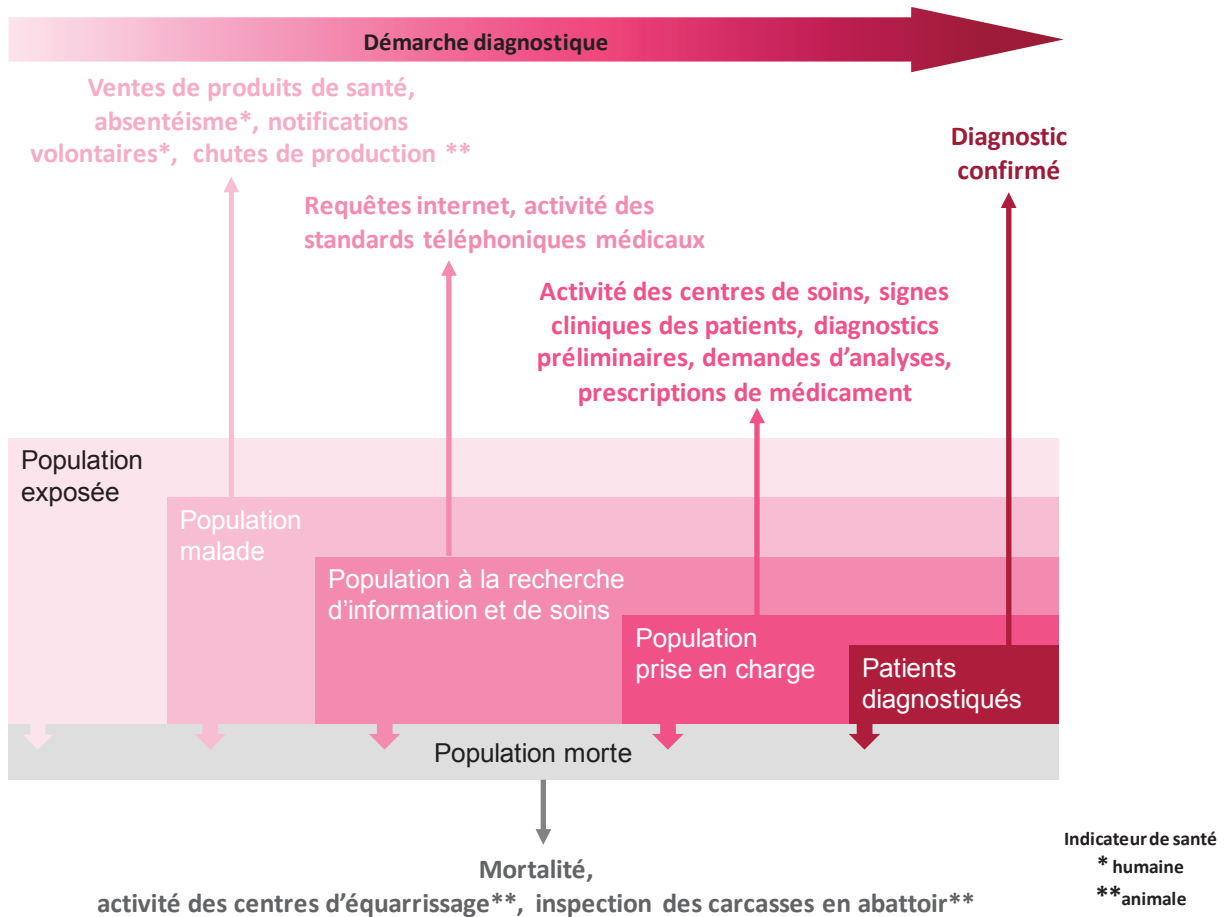


Figure 3 : Exemples d'indicateurs de l'état de santé d'une population utilisés dans le cadre de la surveillance syndromique

1.3.2 Mode de collecte

Dans la définition proposée par le CDC, les DSS sont caractérisés par une collecte et une analyse des données immédiate et automatisée. Cette situation idéale est rarement atteinte en pratique, particulièrement en santé animale où l'approche en est encore à ses balbutiements. Le plus souvent, les données sont collectées et analysées à un rythme quotidien ou hebdomadaire, voire moins fréquemment, et le degré d'automatisation atteint est variable.

Pour les systèmes dont la réactivité est primordiale, internet (mail, site ftp,...) représente un moyen de choix pour le transfert de données. S'il existe aussi des systèmes fonctionnant à partir de notifications téléphoniques, l'utilisation de notifications au format papier, associée à une importante charge de travail (transfert, saisie), semble en revanche difficilement compatible avec les objectifs des DSS. Comme en santé humaine, de nombreux DSS vétérinaires sont basés sur des notifications via internet (Shepard, 2006) ou le téléphone (Bartels et al., 2006). Toutefois, comme les consultations vétérinaires ne se réalisent pas toujours en cabinet mais souvent sur les exploitations (animaux de production), ce type de notification peut se révéler inadapté, voire manquer de réactivité. Ainsi dans certains projets de surveillance syndromique vétérinaires, les praticiens sont équipés avec des outils de

notification portatifs (PDA) qui ont l'avantage d'être rapides, efficaces, interactifs et sécurisés (Vourc'h et al., 2006).

De nombreux DSS se basent sur des données déjà produites. Le transfert des données ne demande dans ce cas aucun travail supplémentaire aux fournisseurs de données. C'est le cas par exemple lorsqu'une interface est mise en place pour collecter les données directement depuis un logiciel déjà en usage chez les professionnels de santé (ex. pour la gestion des dossiers cliniques, la facturation des services, la gestion des stocks, etc.). Dans le cas contraire, la pérennité des systèmes ne peut être assurée qu'en apportant une compensation aux fournisseurs de données en échange de leur travail de notification. Les formes de compensations peuvent être multiples (compensation financière, accès aux rapports sur la fréquence des symptômes, sur les alertes émises, aide au diagnostic, etc.).

1.3.3 Méthodes d'analyse

Dans les dispositifs de surveillance classiques, des alertes sont lancées suite à des tests biologiques (ex. sérologique ou virologique) confirmant la présence d'un agent pathogène. Dans les DSS en revanche, des alarmes sont émises sur la base de tests statistiques confirmant une anomalie dans l'évolution d'un indicateur reflétant l'état de santé global d'une population.

Les méthodes d'analyse statistique ont donc une place primordiale dans les DSS. Identifier des anomalies dans l'évolution d'un indicateur de santé non spécifique n'est pas toujours aisé, d'autant plus que ceux-ci connaissent généralement d'importantes fluctuations systématiques et/ou aléatoires même en dehors de tout événement sanitaire d'intérêt. Cette problématique complexe nécessite des ressources importantes en matière de gestion de données et d'analyse statistique.

De nombreux algorithmes de détection d'anomalies ont été envisagés pour la surveillance syndromique. Les méthodes d'analyse temporelles, spatiales et spatio-temporelles les plus couramment utilisées en surveillance syndromique sont détaillées au paragraphe 2.

1.3.4 Interprétation et exploitation des résultats

Comme les indicateurs employés en surveillance syndromique reflètent de manière plus ou moins indirecte l'état de santé réel de la population sous surveillance, leurs fluctuations peuvent être affectées par des facteurs non sanitaires. En conséquence, les anomalies statistiques identifiées par les algorithmes de détection dans le cadre d'un DSS ne peuvent pas être considérées comme des alertes épidémiologiques. Ces signaux, que l'on peut qualifier d'« alarmes », nécessitent d'être interprétés avant d'éventuellement donner lieu à une véritable alerte épidémiologique si la présence d'une menace pour la santé semble effectivement probable. Dans l'idéal, cette interprétation devrait être réalisée de manière collégiale par un groupe réunissant un ou plusieurs représentants des fournisseurs de données, des administrateurs de bases de données, des statisticiens et des épidémiologistes.

En dehors des situations d'alerte, les DSS produisent des informations sur l'état de santé de la population qui peuvent être diffusées de manière large, comme par exemple le bulletin hebdomadaire d'information du DSS français Sursaud® librement accessible via internet, ou plus restreinte au sein des autorités sanitaires.

1.4 Intérêt et faisabilité en santé animale

Pour les participants au groupe de discussion sur le développement de méthodes de surveillance tenu en amont de l'ISVEE 2009, les dispositifs de surveillance qui utilisent des données syndromiques représentent des outils susceptibles d'améliorer la détection des maladies animales émergentes (Hoinville et al., 2009), et l'exploitation de données syndromiques doit être encouragée pour contribuer à améliorer la protection de la santé animale.

1.4.1 Aboutissement du diagnostic en médecine vétérinaire

Un diagnostic formel est probablement moins souvent atteint en santé animale qu'en santé humaine. En effet, une grande partie des animaux domestiques ne font pas l'objet d'une consultation vétérinaire lorsqu'ils sont malades.

Dans les pays en développement ou dans certaines zones reculées de pays développés, les vétérinaires sont rares et les éleveurs ou les travailleurs agricoles sont souvent les seuls à constater les maladies sur le cheptel (Shepard et al., 2006). En Australie, un inventaire des ressources vétérinaires a mis en évidence la diminution de l'expertise vétérinaire dans les régions rurales, où l'élevage est extensif (Frawley, 2003 cité par (Shepard et al., 2006)).

Même lorsque les vétérinaires sont disponibles et sollicités, et qu'ils disposent d'outils diagnostiques, les contraintes économiques des propriétaires (particulièrement importantes dans le cas des animaux de production) limitent le recours à des examens complémentaires. Ainsi, lors de la conception d'un système de surveillance du virus West Nile dans le sud de la France, Leblond *et al.* ont constaté que le diagnostic définitif des désordres neurologiques observés chez les chevaux n'était atteint que dans 50% des cas (Leblond et al., 2010).

Les limites du diagnostic en médecine vétérinaire justifient en partie l'intérêt de la surveillance syndromique pour la surveillance des populations animales, l'observation des syndromes cliniques (par les vétérinaires ou d'autres observateurs) ou d'autres indicateurs de santé étant souvent le seul élément disponible pour détecter la présence d'une maladie. Pourtant, il est surprenant de constater que les projets de surveillance syndromique ne se développent pas préférentiellement dans des régions dépourvues de moyens diagnostiques mais bien souvent dans des régions ayant déjà un réseau de surveillance traditionnel déjà bien implanté (Europe, Etats-Unis).

1.4.2 Disponibilité des données

De nombreuses données pouvant potentiellement être exploitées dans le cadre de DSS vétérinaires sont déjà collectées de manière routinière en France et dans le monde pour des raisons sanitaires, économiques ou zootechniques. Par exemple la réglementation européenne impose à chaque Etat membre de tenir à jour une base de données informatisée sur l'identification et les mouvements (dont la mort) des bovins (Union européenne, 1997). Ces registres nationaux d'identification représentent en théorie une source de données sur la mortalité des bovins à la fois exhaustive, rapidement mise à jour et harmonisée à l'échelle européenne (cf. Chapitre 2).

D'autres données potentiellement exploitables dans le cadre de la surveillance syndromique sont collectées en routine mais ne sont pas encore disponibles en temps réel et de manière centralisée. En effet, une part importante des structures collectant ce type de données sont

privées (industries pharmaceutique et agro-alimentaire, organisations agricoles, cliniques vétérinaires, etc.) et ne souhaitent pas transmettre systématiquement des informations pouvant éventuellement nuire à leur activité commerciale (ex : données sur les ventes de médicaments, sur l'activité des cabinets vétérinaires). De plus, la multiplicité des opérateurs peut compliquer techniquement la collecte et la centralisation des données, notamment lorsque ceux-ci utilisent des systèmes d'information non compatibles.

Ces obstacles peuvent toutefois être surmontés. En effet, l'industrie agro-alimentaire représente un domaine d'activité certes commercial et très concurrentiel, mais aussi très réglementé. Les opérateurs de cette filière (fermes, abattoirs, centres d'équarrissage...) sont contraints de collecter, voire de partager, un grand nombre d'informations avec les autorités sanitaires (centralisées en France dans SIGAL, le système d'information de la Direction générale de l'Alimentation, DGAL). En l'absence de réglementation contraignante, l'accès aux données peut par ailleurs souvent être obtenu en échange d'une compensation, financière ou non. Par exemple le système australien BOSSS collecte des données sur les signes cliniques observés par les éleveurs dans leur troupeau via un service d'aide au diagnostic en ligne (Shepard, 2006). Un système similaire a été mis en place au Danemark, où les motifs d'appel à une ligne d'assistance au diagnostic (destinée aux éleveurs et aux vétérinaires) sont collectés et analysés (Bartels et al., 2006).

D'autre part, l'augmentation de la taille des organisations professionnelles agricoles et vétérinaires, les avancées en matière de traitement de l'information et la généralisation de certains logiciels augmentent d'autant les possibilités de centralisation de données à grande échelle. Ainsi, les réseaux NCASP aux Etats-Unis (voir Encadré 3) et SAVSNET au Royaume-Uni centralisent des données saisies dans un large réseau de cliniques vétérinaires privées pour animaux de compagnie (Glickman et al., 2006; Radford et al., 2010).

1.4.3 Lien avec la santé humaine

1.4.3.1 Le concept « One health »

Constatant les limites des approches conventionnelles sur les maladies infectieuses, la Société de conservation de la faune sauvage (WCS, *Wildlife Conservation Society*) a proposé, dès 2004, une approche cohérente, globale et préventive de protection de la santé humaine, initialement connue sous le nom One World-One Health. Cette approche vise à renforcer les liens entre santé humaine, santé animale et gestion de l'environnement, en particulier de la biodiversité et des services fournis par les écosystèmes (Kahn et al., 2009). Six organisations internationales de premier plan – l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), le Fonds des Nations unies pour l'enfance (UNICEF), le bureau du Coordonnateur du système des Nations unies sur la grippe (UNSIC) et la Banque mondiale – ont élaboré un cadre de référence fondé sur ce concept en 2008, que la France soutient officiellement (Ministère des affaires étrangères et européennes, 2011).

Cette approche intégrée de la santé, désormais renommée One Health, repose essentiellement sur le renforcement des collaborations entre santé humaine, santé animale et gestion de l'environnement.

Parmi les principaux points pouvant bénéficier de cette approche, sont cités :

- le développement des capacités de surveillance et de réponse aux niveaux international, régional et national ;
- le renforcement des systèmes d'alerte rapide et de détection.

Comme les autres approches de surveillance épidémiologique, la surveillance syndromique doit être envisagée sous l'angle du concept « One health ». Pourtant, malgré tout leur intérêt, les véritables synergies entre DSS de santé publique et vétérinaire sont encore rares.

1.4.3.2 *L'animal sentinelle*

Le principe d'utiliser les animaux comme sentinelles d'un danger est ancien : de la domestication des chiens alertant leurs maîtres à l'approche d'un danger jusqu'à l'introduction des canaris dans les mines de charbon, les humains ont utilisé les animaux pour protéger leur santé. Les sentinelles peuvent être considérées comme « tous les organismes non humains qui peuvent réagir à des contaminants environnementaux avant qu'ils n'affectent les personnes » (Gubernot et al., 2008). Cette définition est limitée aux menaces de nature toxique, mais en réalité nous pouvons considérer que ces organismes peuvent jouer ce rôle de sentinelle pour tout autre type de menace sanitaire (infectieuse, climatique). Trois raisons justifient l'utilisation des animaux domestiques (et parfois sauvages) comme sentinelles :

- ils partagent le même environnement que les humains ;
- ils peuvent répondre à l'exposition au danger de manière analogue ou supérieure ;
- ils peuvent présenter des signes cliniques identifiables plus précocement que les humains.

Dans des conditions appropriées, la surveillance syndromique peut révéler dans la population animale domestique ou sauvage des signaux reflétant l'existence d'une menace sanitaire commune à l'homme et à l'animal. Un DSS vétérinaire, le National Companion Animal Surveillance Program (décrit plus en détail au paragraphe 3.1.2.1), a déjà permis de suivre et d'évaluer les effets sur la santé d'une pollution environnementale : en juin 2006 une usine de traitement de déchets a déversé accidentellement de l'Ethotrop (un pesticide) près d'une zone résidentielle américaine. Après l'accident, des plaintes sont remontées jusqu'aux autorités sanitaires locales suggérant que cette pollution avait affecté la santé des populations humaines et animales voisines. En l'absence de données syndromiques humaines, les autorités ont demandé au NCASP d'étudier les données médicales enregistrées sur les animaux de compagnie vus en consultation dans les cliniques vétérinaires de la zone concernée (représentant 40 000 consultations par an). L'étude de la fréquence et la distribution géographique des syndromes cliniques (inflammations oculaires, syndromes gastro-intestinaux et respiratoires, troubles du comportement, etc.) observés chez les chiens et chats avant, pendant, et après l'épisode toxique a permis de démontrer l'absence de changement radical dans l'environnement immédiat du site pollué, même si certains syndromes (respiratoires chez les chats, gastro-intestinaux chez les chiens et oculaires dans les deux espèces) ont effectivement légèrement augmenté après le rejet (Maciejewski et al., 2008). Selon les auteurs, le système a montré son intérêt pour suivre et évaluer les effets de l'exposition au toxique sur la santé, mais des travaux supplémentaires

sont nécessaires pour développer un système capable de détecter les risques environnementaux.

1.4.3.3 Zoonoses

La surveillance syndromique vétérinaire peut permettre de détecter dans la population animale la présence d'agents pathogènes qui sont susceptibles d'infecter l'Homme, sous réserve que l'infection chez l'animal ne soit pas asymptomatique.

Sur 175 pathogènes considérés comme émergents chez l'Homme, 75% sont zoonotiques (Taylor et al., 2001), comme par exemple l'influenza A(H1N1) pandémique, le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), le virus West Nile, le SRAS, le virus Monkeypox, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), la fièvre de la vallée du Rift... (Gubernot et al., 2008). Ces zoonoses émergentes peuvent être transmises à l'Homme via les populations sauvages ou domestiques et peuvent selon les cas être suivies d'une transmission interhumaine (Kahn et al., 2009). L'importance des maladies zoonotiques semble augmenter selon une analyse des émergences de maladies infectieuses entre 1940 et 2004 (Jones et al., 2008).

Par ailleurs, la majorité des agents pathogènes employés pour des actes de bioterrorisme, menace à l'origine de la naissance de la surveillance syndromique, sont zoonotiques (Gubernot et al., 2008). La fièvre charbonneuse (*Bacillus anthracis*), la peste (*Yersinia pestis*), la tularémie (*Francisella tularensis*) et les agents des fièvres hémorragiques virales (Ebola, Marburg, Lassa, Machupo) sont classés dans la catégorie A des agents utilisés dans le bioterrorisme par le CDC. Un projet américain de surveillance syndromique des animaux de compagnie a d'ailleurs été financé par le CDC et intéresse le Département de la Sécurité Intérieure dans le cadre de la lutte contre le bioterrorisme (Moore et al., 2004). Dans ce projet, les syndromes cliniques correspondant aux maladies causées par les agents A et B de bioterrorisme sont notamment recherchés chez les chiens et les chats.

L'épidémiologie de la maladie de West Nile devrait constituer un bon exemple pour illustrer l'intérêt des synergies entre les dispositifs de surveillance syndromique de santé humaine et animale pour améliorer la détection des foyers de maladies zoonotiques. En effet, les premiers signaux de la présence de la maladie dans un environnement donné sont une augmentation de la mortalité des oiseaux et des syndromes neurologiques chez les chevaux (Figure 4).

Pourtant l'épidémie survenue en 1999 à New-York a plutôt été l'illustration de l'insuffisance des échanges entre les systèmes de surveillance humains et animaux : au cours de cet épisode infectieux, deux investigations ont simultanément débuté pour identifier d'une part l'origine de la surmortalité observée chez les oiseaux et d'autre part la nature de l'épidémie qui touchait la population humaine, mais le lien entre les deux événements n'a été établi qu'au bout de trois mois (Gubernot et al., 2008).

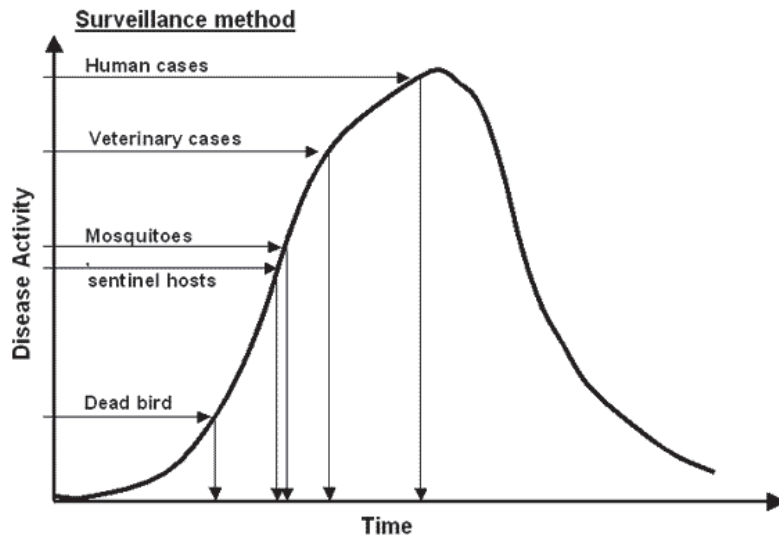


Figure 4 : Chronologie des signaux produits suite à l'introduction du virus West Nile dans un environnement donné (source : CDC)

1.4.3.4 Intérêt des données vétérinaires pour la surveillance syndromique humaine

Les données vétérinaires non syndromiques peuvent aussi être une source de données pour les systèmes de surveillance syndromique humains. Une étude rétrospective a ainsi été conduite aux Pays-Bas pour savoir si un système de surveillance syndromique aurait pu détecter plus tôt les foyers de Coxiellose (fièvre Q) humains survenus en 2007 dans ce pays. Les regroupements de syndromes « infection des voies respiratoires inférieures » identifiés chez l'Homme avant le début de l'épidémie ont été considérés comme des foyers de fièvre Q probables, possibles ou improbables, selon leur distance à des agrégats de fermes caprines infectées (les éleveurs de chèvres avaient obligation de notifier les infections dues à *Coxiella Burnetii*).

Les auteurs notent que ces DSS humains fonctionneraient mieux s'ils intégraient des données sur les fermes infectées. Cela pourrait éviter de lancer des investigations inutiles sur des regroupements de cas probablement faux positifs, car éloignés des fermes infectées (van den Wijngaard et al., 2011).

2 Méthodologie de la détection d'anomalies employée en surveillance syndromique

Les DSS produisent de manière continue un volume de données extrêmement important qui représente un véritable défi en termes d'analyse. Un tel flux de données ne peut pas être directement examiné et interprété par un être humain et doit nécessairement faire l'objet d'une analyse automatisée.

La détection en temps réel d'anomalies fait face à des problématiques statistiques spécifiques (Farrington and Andrews, 2004) telles que la prise en compte des délais de notification (dont la moyenne et la variance influencent respectivement la réactivité et la sensibilité de la détection) et des données aberrantes (la transmission en temps réel limite les possibilités de consolidation des données), la modélisation des fluctuations ordinaires de l'indicateur (définition du niveau de référence), la détermination des seuils d'alerte... Au fil des années, de nombreux outils de détection d'anomalies, le plus souvent adaptés d'autres domaines (tels que l'économétrie, la météorologie ou le contrôle de la qualité en industrie), ont été proposés pour répondre aux besoins de la surveillance syndromique.

Aujourd'hui l'éventail des possibilités est large ce qui rend le choix d'un algorithme d'autant plus complexe. En effet, chacun d'entre eux a des avantages et des limites qu'il convient de bien connaître pour choisir le plus adapté aux spécificités du système et des données considérées.

2.1 Classification des algorithmes

Il n'existe pas de classification reconnue des algorithmes employés dans le domaine de la santé publique (Buckeridge et al., 2008). Nous présenterons les principaux algorithmes utilisés en surveillance épidémiologique en considérant d'une part ceux n'utilisant que des informations temporelles et d'autre part ceux intégrant des informations géographiques. En effet, selon une revue menée en 2007, 69% des systèmes proposés étaient basés sur des algorithmes temporels tandis que le reste utilisait des algorithmes spatiaux ou spatio-temporels (Buckeridge, 2007).

Les algorithmes de détection d'anomalies sont décrits en épidémiologie comme des algorithmes qui évaluent régulièrement l'écart entre un phénomène de santé observé (taux, nombre) et ce qui serait attendu, en se basant sur l'expérience passée (Buckeridge et al., 2008). Pour ce faire, trois étapes clefs au minimum sont nécessaires (Figure 5):

- l'obtention de la valeur observée, représentative de l'évènement étudié ;
- le calcul de la valeur attendue ;
- la réalisation d'un test permettant de savoir si la valeur actuelle dévie assez de la valeur attendue pour déclencher une alerte.

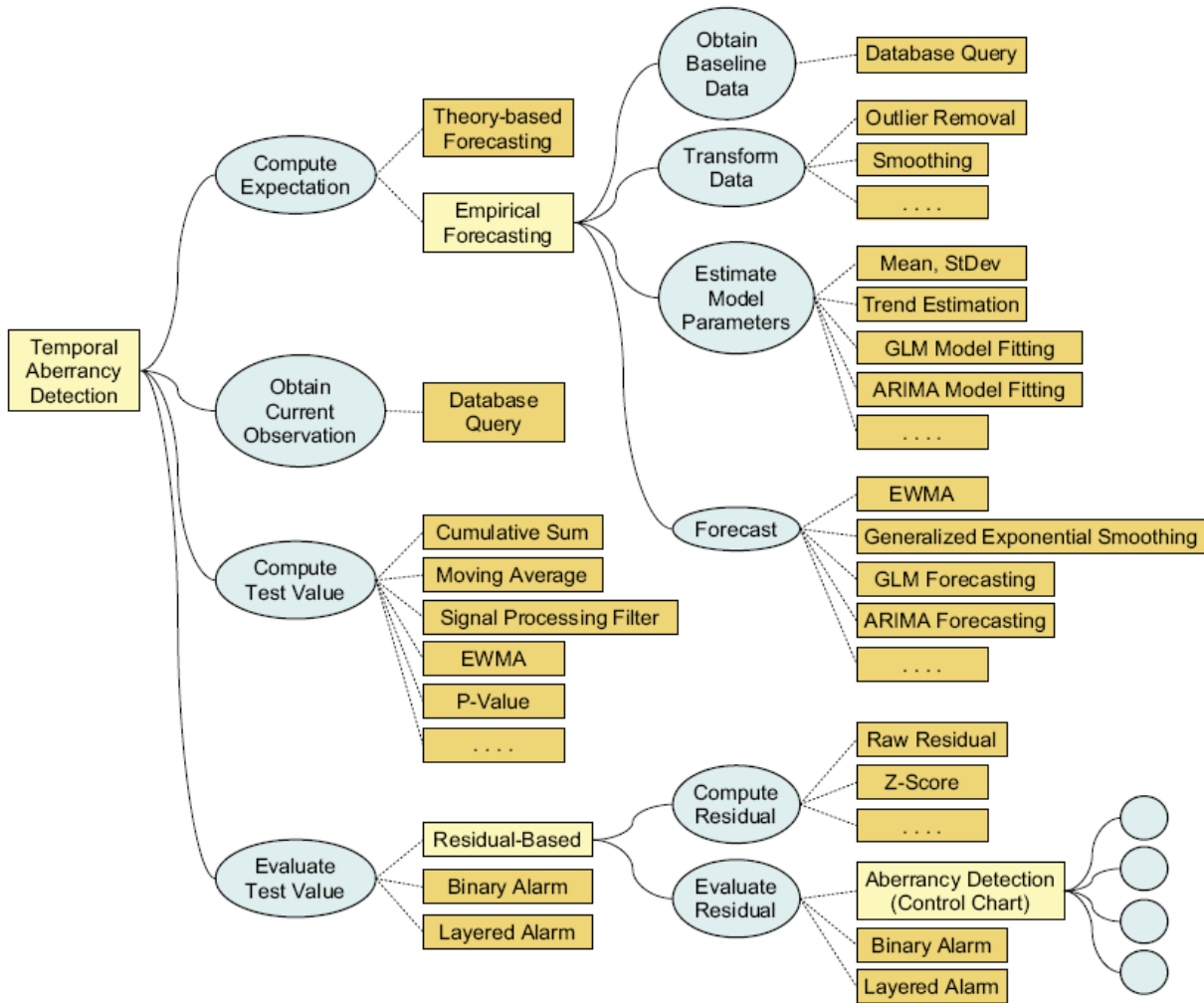


Figure 5 : Structure générale des algorithmes de détection d’anomalies (Buckeridge et al., 2008). Les ellipses représentent les tâches qui doivent être réalisées et les rectangles représentent les méthodes qui permettent leur réalisation. Les méthodes primitives sont en jaune sombre, tandis que les méthodes complexes sont en jaune clair.

2.2 Approches temporelles

2.2.1 Principe général

Les algorithmes de détection sur série temporelle doivent préalablement être calibrés sur une période historique prise comme référence. Cette période historique peut être utilisée en entier ou en partie, en l’état ou après certaines modifications, et ce afin d’établir des prédictions sur la période de test, qui seront comparées aux valeurs réelles pour identifier d’éventuelles anomalies.

2.2.2 Choix de la période de référence

La taille de l’historique peut être contraint par le type d’algorithme employé : certaines méthodes nécessitent par construction un long historique tandis que d’autres ont été conçues pour fonctionner avec un historique de données limité : par exemple cinq ans pour la méthode des limites historiques (Farrington and Andrews, 2004) contre une semaine pour les méthodes de la famille-C (Hutwagner et al., 2005). En l’absence de contraintes, le choix de la longueur de la période de référence dépendra de la volonté de l’utilisateur de

modéliser de façon rigide l'effet du temps, ou au contraire de ne prendre en compte que les tendances récentes (Burkom, 2003).

La période de référence peut être fixe ou glissante (Burkom, 2003). Dans ce dernier cas, elle est complétée à chaque fois qu'une nouvelle valeur est enregistrée. Les nouvelles valeurs sont intégrées en l'état ou suite à un traitement si elles ont été identifiées comme valeurs aberrantes.

Dans le cas d'un historique mis à jour à chaque nouvelle valeur, un intervalle avant la valeur à tester (« guardband ») peut être gardé de manière à exclure le démarrage éventuel d'un foyer du jeu de données de référence utilisée pour calculer la prédiction (Buckeridge et al., 2005). Deux jours de « guardband » sont par exemple prévus dans les méthodes C2 et C3 (Hutwagner et al., 2005) ou dans la méthode basée sur une carte de contrôle EWMA proposée par Burkom (Burkom, 2003).

2.2.3 Gestion des points atypiques

Généralement l'historique de données disponible contient de l'information sur les variations systématiques et les variations aléatoires de l'indicateur sous surveillance, mais aussi des signaux atypiques, provoqués par exemple par des épidémies passées. L'existence de ces observations atypiques (*outliers* en anglais) peut altérer la calibration des algorithmes et notamment conduire à des estimations trop élevées du niveau de référence (Figure 6).

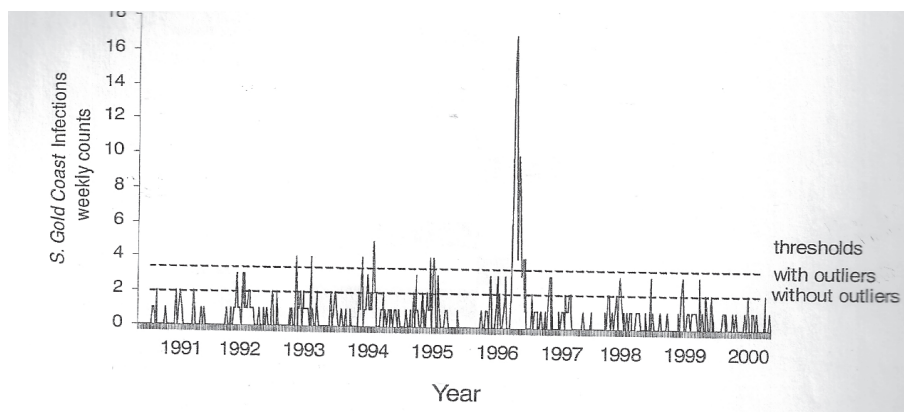


Figure 6 : Seuils d'alerte calculés pour les infections à *Salmonella* Gold Coast avec et sans les outliers (Farrington et al., 1996)

Quatre grands types de perturbations peuvent être distingués :

- les *Additive Outliers* qui affectent une seule observation à un moment du temps dans la série temporelle ;
- les *Level Shifts* qui ont un effet permanent sur le niveau de la série ;
- les *Temporary Changes* qui affectent temporairement la série qui retourne ensuite à son niveau précédent ;
- les *Innovative Outliers* qui ont un effet plus complexe et différent selon le type de série (stationnaire ou non).

Les valeurs atypiques de l'historique peuvent être détectées par inspection visuelle. Le « graphe de la moyenne étendue » (Watier, 1995) permet par exemple de repérer rapidement les observations qui se détachent par rapport aux autres. Lorsqu'elles sont disponibles, des informations extérieures peuvent être utilisées pour valider la présence

d'un épisode épidémique dans une série temporelle. Des méthodes quantitatives et automatisables ont toutefois été proposées pour identifier et traiter de manière systématique les points atypiques (Watier et al., 1991). Une fois identifiées, ces valeurs peuvent être retirées (Reis and Mandl, 2003), lissées ou pondérées de manière à leur donner moins d'influence, comme c'est le cas dans le système employé par le CDC élaboré par Farrington (Farrington et al., 1996).

2.2.4 Décomposition et stationnarisation

Les séries temporelles sont généralement composées de variations systématiques (tendance et variations saisonnières) et de variations aléatoires. L'identification et la description de ces composantes constituent une étape préalable nécessaire qui permettra ensuite d'identifier les méthodes de détection les plus adéquates et, selon les besoins, de stationnariser la série ou de la modéliser.

La *tendance* reflète les processus fondamentaux qui déterminent l'évolution à long terme de la série. Sa valeur peut être estimée par des méthodes paramétriques ou non paramétriques. Les lissages par moyenne mobile constituent une manière facile d'identifier la forme de la tendance (linéaire, exponentielle, etc.).

La *composante périodique* représente les variations cycliques de la série caractérisées par une ou plusieurs périodes. Plusieurs méthodes (analyse spectrale, autocorrélation partielle) permettent de révéler les cycles périodiques lorsqu'ils sont difficilement identifiables. Les séries temporelles des indicateurs sanitaires sont souvent caractérisées par d'importantes variations saisonnières et hebdomadaires.

La *composante stochastique* reflète enfin l'ensemble des perturbations aléatoires affectant la série temporelle. Les hypothèses de distribution concernant ces séries résiduelles sont variables. Certaines méthodes d'analyse sont basées sur une hypothèse de distribution normale des erreurs. D'autres considèrent que les résidus suivent une distribution Poissonnienne, tandis que le modèle de Farrington, prend en compte la surdispersion des résidus (Farrington et al., 1996). D'autre part, les résidus des séries temporelles sont très souvent caractérisés par des effets d'autocorrélation, du fait des phénomènes de mémoire : la série ne dépend pas seulement de facteurs externes mais aussi de ses états passés. Si l'analyse des séries résiduelles révèle la présence d'autocorrélation, cette information peut être exploitée pour améliorer le modèle de prévision existant, ou pour en proposer un autre, mieux adapté aux données (Reis and Mandl, 2003). Des tests de bruit blanc, pour chaque retard et/ou globaux permettent d'identifier l'éventuelle présence d'auto-corrélations dans une série désaisonnalisée et détendancée (Mélard, 2008).

La stationnarisation d'une série consiste à transformer la série en un processus stationnaire en retirant les variations systématiques (tendance et variations périodiques) pour ne garder que la composante aléatoire. Le principe est généralement d'estimer d'abord la tendance puis de calculer les coefficients saisonniers sur la série détendancée. La série résiduelle est enfin obtenue en retranchant de la série brute la tendance et les coefficients saisonniers estimés. Plusieurs méthodes de décomposition permettent de réaliser cette tâche : décomposition par moyenne ou médiane mobile, décomposition de Loess (régressions polynomiales locales réitérées), CENSUS II, le filtrage Eigenvector, etc.

2.2.5 Détection

2.2.5.1 Cartes de contrôle

Les cartes de contrôle sont des systèmes développés initialement dans le domaine de la qualité industrielle et adaptés dans les années 80 à la surveillance épidémiologique.

Les **cartes de contrôle de Shewhart** évaluent uniquement la dernière valeur observée. La moyenne et l'écart type de l'indicateur surveillé sont d'abord estimés soit à partir d'un échantillon historique, soit de manière théorique ou à partir d'un modèle. Les limites de contrôle sont ensuite calculées à partir de cette moyenne et de cet écart type, puis comparées aux nouvelles valeurs pour établir le diagnostic. En surveillance épidémiologique, les cartes de contrôle de Shewhart sont souvent appliquées sur une série résiduelle obtenue après décomposition d'une série brute (Figure 7).

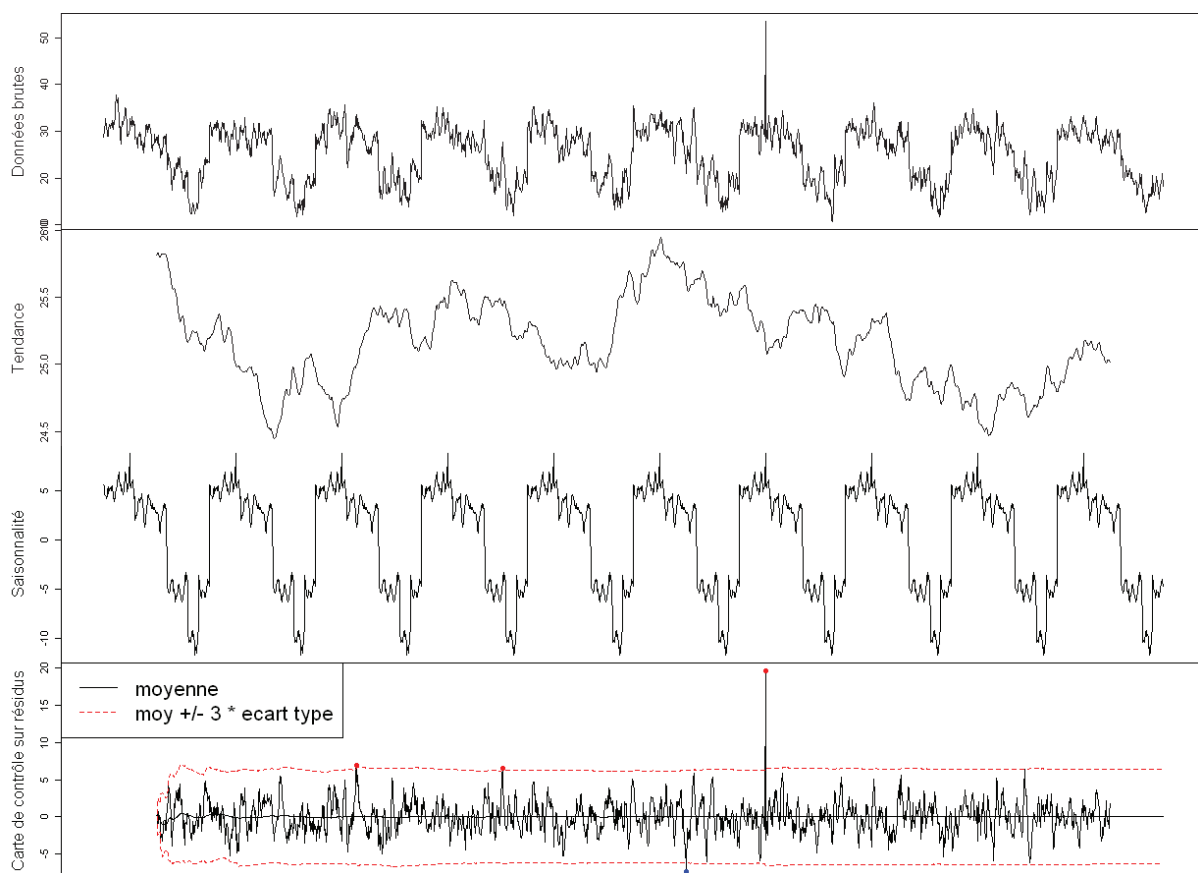


Figure 7 : Exemple de carte de contrôle appliquée aux résidus d'un modèle de Poisson ajusté sur une série obtenue par simulation

Il existe différentes cartes selon la nature et la distribution des indicateurs surveillés : les x- et s-charts pour les mesures (distribuées normalement), les c-charts pour les comptages, u-charts pour les taux, p-charts pour les proportions... Une alerte est lancée lorsque le dernier résidu dépasse le seuil prédéterminé, par exemple fixé à $\pm k$ écarts types du niveau moyen global dans les x-charts (Williamson and Hudson, 1999). Les cartes de contrôle de Shewhart détectent rapidement de grandes variations mais sont moins efficaces pour les variations de niveau plus faible.

Les cartes de contrôle séquentielles (CUSUM et EWMA) sont mieux adaptées pour détecter des écarts à la valeur attendue réduits mais répétés.

Les **cartes de contrôle CUSUM** utilisées en surveillance épidémiologique se basent généralement sur le calcul d'une somme cumulative asymétrique positive (les signaux recherchés étant le plus souvent des augmentations) :

$$C_0 = 0 \qquad C_t = \max\{0, C_{t-1} + (y_t - k\sigma)\}$$

avec C_t la valeur de la somme cumulative au temps t , y_t l'écart standardisé entre la valeur observée et attendue à t et k une constante fixée en fonction de la taille de l'effet d'intérêt.

Ainsi, en absence d'écart systématique à la valeur attendue, la valeur de la somme cumulative reste proche de zéro (Figure 8). Si elle dépasse un seuil $h\sigma$, le processus est considéré « hors de contrôle » et une alarme est produite. La somme cumulative est alors remise à zéro et le processus redémarre.

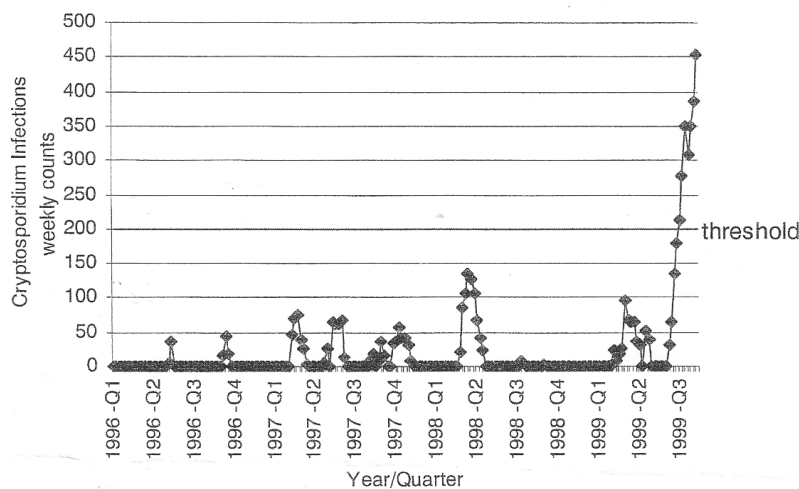


Figure 8 : Exemple de carte de contrôle CUSUM appliquée à la surveillance de la santé publique (Farrington et al., 1996)

Plusieurs systèmes de surveillance basés sur l'analyse des résidus d'un modèle de prédiction via une carte de contrôle CUSUM ont été proposés (Miller et al., 2004; Brillman et al., 2005; Burr et al., 2006). L'usage de ces cartes améliore les performances de détection pour les foyers qui durent plus d'un jour (dans le cas d'analyse de comptage quotidien). Des méthodes basées sur les sommes cumulées ont par ailleurs été proposées par le Bioterrorism and preparedness and response Program du CDC. Ces méthodes, dites de la famille-C (C1-MILD, C2-MEDIUM, C3-ULTRA) s'appliquent directement sur les séries brutes journalières (Hutwagner et al., 2005). La distribution du comptage au temps t est estimée à partir d'une période de référence glissante de sept jours qui précède immédiatement la nouvelle valeur, afin de prendre en compte les éventuelles fluctuations hebdomadaires et s'affranchir des fluctuations saisonnières. Les trois méthodes proposées sont de sensibilité croissante (et de spécificité décroissante).

Les **cartes de contrôle EWMA** (Exponential Weighted Moving Average) se basent quant à elles sur un lissage exponentiel. Les valeurs lissées sont évaluées dans des cartes de contrôles dont la limite supérieure (UCL) est définie selon (Burkom, 2003; Ivanov et al., 2003) :

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1} \qquad UCL = m + k \times s \times \sqrt{\frac{\alpha}{n(2 - \alpha)}}$$

avec S_t la valeur lissée au temps t , n , m et s respectivement la taille, la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de référence et k une constante fixée en fonction de la taille de l'effet d'intérêt (Burkom, 2003). La constante α détermine le poids que l'on souhaite affecter aux dernières mesures. Plus la valeur α est grande, plus la carte est sensible aux dérives subites, plus la valeur α est faible, plus la carte est sensible aux petits écarts systématiques.

Cette procédure a été appliquée à des séries représentant le nombre d'admissions aux urgences groupées par motif de consultation (Burkom, 2003). Williamson a quant à lui analysé les résidus de son modèle ARIMA avec diverses cartes de contrôle dont une carte de contrôle EWMA (avec un coefficient de lissage de 0,2) (Williamson and Hudson, 1999). Il conclut que les cartes de contrôle EWMA étaient les mieux adaptées pour détecter les augmentations graduelles de son signal.

Les paramètres des cartes (k , h pour les cartes CUSUM et k , α pour les cartes EWMA) déterminent en grande partie les performances (sensibilité, précocité et spécificité) du système. Ils sont le plus souvent fixés de manière empirique en testant plusieurs combinaisons de paramètres sur des jeux de données historiques ou simulés.

2.2.5.2 Méthodes des limites historiques

La méthode des limites historiques est employée par le CDC pour surveiller l'incidence des maladies endémiques aux États-Unis (Farrington and Andrews, 2004). Chaque semaine t de l'année a , le nombre de cas observés lors des quatre dernières semaines ($M_{a,t}$) est évalué par rapport à une valeur attendue ($\bar{M}_{a,t}$) correspondant à la moyenne observée sur un historique glissant de n valeurs. Ces n valeurs correspondent aux $M_{a,t}$ observés les b années précédentes, dans une fenêtre de longueur L . La limite historique (LH) est elle-même calculée à partir de la moyenne et l'écart type calculé sur cet échantillon de valeurs historiques. Par exemple pour $b=5$ et $L=1$:

$$\bar{M}_{a,t} = \frac{1}{15} \times [(M_{t-4} + M_t + M_{t+4})_{a-5} + \dots + (M_{t-4} + M_t + M_{t+4})_{a-1}]$$

$$LH = \bar{M}_{a,t} \pm z_{\alpha/2} \times s_{a,t} \times \sqrt{1 + \frac{1}{15}}$$

La méthode est basée sur un principe extrêmement simple mais nécessite un historique de données long (3 à 5 ans).

2.2.5.3 Modélisation linéaire simple ou généralisée

Les fluctuations historiques d'un indicateur syndromique peuvent être modélisées à l'aide d'un modèle linéaire simple ou généralisé (Poisson) sur une période historique déterminée, fixe ou glissante (cf. paragraphe 2.2.2).

L'un des premiers modèles utilisés dans le cadre de la surveillance épidémiologique est celui de Serfling, basé sur une régression linéaire simple intégrant une tendance linéaire et une fonction sinusoïdale pour la périodicité (Serfling, 1963). L'observation à la date t est

considérée comme une variable aléatoire suivant une loi Normale, dont l'espérance (μ_t) est donnée par l'équation suivante :

$$Y_t \sim N(\mu_t, \sigma^2) \quad \mu_t = \alpha + \beta t + \gamma_{\cos} \cos\left(\frac{2\pi}{P} t\right) + \gamma_{\sin} \sin\left(\frac{2\pi}{P} t\right)$$

Reis et Brillman ont par exemple utilisé ce type de modèle pour modéliser le nombre de visites journalières aux urgences (Reis and Mandl, 2003; Brillman et al., 2005).

Dans le cas où le nombre d'évènements considérés est faible, la régression de Poisson peut être plus adaptée :

$$Y_t \sim \text{Poisson}(\mu_t) \quad \log(\mu_t) = \alpha + \beta t + \gamma_{\cos} \cos\left(\frac{2\pi}{P} t\right) + \gamma_{\sin} \sin\left(\frac{2\pi}{P} t\right)$$

Des modèles de Poisson ont ainsi été employés pour des systèmes de surveillance du nombre de mortalités associées à des avortements aux USA (Parker, 1989), ou du nombre de syndromes respiratoires observés dans un service d'urgence (Burr et al., 2006).

Dans les deux cas, l'analyse préalable de la série historique permettra d'identifier les caractéristiques de la tendance et de la cyclicité de la série afin de les modéliser de manière adéquate. Par exemple la tendance pourra être modélisée par une fonction linéaire, exponentielle, voire des splines... La ou les périodes observées pourront être quant à elles modélisées par des fonctions sinusoidales lorsque celles-ci représentent bien les variations naturelles, ou par des facteurs discrets dans le cas contraire. Par exemple, Brillman ajoute un effet « jour de la semaine » à son modèle pour capturer les fluctuations hebdomadaires liées au fonctionnement du service de soins :

$$\mu_t = \alpha + \beta t + \gamma_{\cos} \cos\left(\frac{2\pi}{P} t\right) + \gamma_{\sin} \sin\left(\frac{2\pi}{P} t\right) + \sum_{i=1}^7 [\delta_i I_{i,t}]$$

où $\sum_{i=1}^7 [\delta_i I_{i,t}]$ capture les effets jours de la semaine. $I_{i,t}$ est égal à 1 quand le jour t est le $i^{\text{ème}}$ de la semaine et égal à 0 sinon. La somme des sept coefficients δ_i est égale à zéro.

Une fois les modèles ajustés sur la période de référence, ceux-ci sont utilisés pour établir des prédictions sur la période de surveillance. Les valeurs observées pendant cette période sont comparées aux intervalles de prédictions fournis par le modèle. Des alertes sont déclenchées lorsque les valeurs observées dépassent la borne supérieure de l'intervalle de prédiction estimé par le modèle. Le risque d'erreur qui détermine l'intervalle de prédiction est un paramètre à fixer selon les performances attendues du système.

2.2.5.4 Méthode de Farrington

La méthode de Farrington est employée au sein du Communicable Disease Surveillance Centre (CSDC) dans le suivi des maladies infectieuses endémiques. Basée sur un modèle de Poisson avec surdispersion, cette méthode prend en compte la saisonnalité et la tendance si elle existe et gère l'existence de points atypiques dans l'historique (Farrington et al., 1996).

La procédure est la suivante :

- Ajustement d'un modèle de Poisson avec surdispersion
- Repondération des observations selon leur écart à la valeur ajustée

- Ré-ajustement du modèle sur les données pondérées
- Ré-évaluation de la surdispersion
- Suppression de la tendance si non significative
- Calcul de la valeur seuil
- Calcul d'un score de gravité

Le modèle s'écrit :

$$\log(\mu_t) = \alpha + \beta \times t \quad E(Y_t) = \mu_t \quad V(Y_t) = \phi \mu_t$$

Le paramètre de dispersion est estimé par :

$$\hat{\phi} = \max \left\{ \frac{1}{n-p} \sum_{t=1}^n \omega_t \frac{(y_t - \hat{\mu}_t)^2}{\hat{\mu}_t}, 1 \right\}$$

Avec $p=1$ ou 2 selon si une tendance est effectivement ajustée ou non

ω_t est le coefficient de pondération défini ci-dessous.

La procédure de re-pondération est mise en place pour diminuer automatiquement l'influence des foyers passés. Soit $\hat{\mu}_t$ l'estimation initiale à t et ϕ le paramètre de dispersion obtenu avec $\omega_t = 1$. Les résidus standardisés des valeurs de référence sont définis par :

$$s_t = \frac{3}{2\sqrt{\hat{\phi}}} \frac{y_t^{2/3} - \hat{\mu}_t^{2/3}}{\hat{\mu}_t^{1/6} \sqrt{(1-h_t)}}$$

Les valeurs de référence dont les s_t sont supérieurs à 1 sont pondérées avec un poids $\omega_t = \gamma \times s_t^{-2}$ et γ sinon.

Cette fonction de pondération a été choisie par Farrington sur des bases empiriques, pour donner un poids moindre aux valeurs avec d'importants résidus. Le modèle de Farrington a déjà été appliqué à la mortalité humaine dans une perspective d'alerte précoce (Caserio-Schönemann et al., 2005).

2.2.5.5 Modèles de séries temporelles

Les modèles de type *autoregressive moving average* (ARIMA) et *seasonal autoregressive moving average* (SARIMA) permettent de prendre en compte l'autocorrélation des résidus d'une série temporelle et d'améliorer le modèle initial en autorisant l'inclusion de variations locales dans la méthode de prévision. L'étude des fonctions d'autocorrélation (ACF), qui caractérise l'existence de liaisons temporelles entre deux éléments décalés d'un temps k et celle des fonctions d'autocorrélation partielles (PACF), qui est identique à l'ACF mais en éliminant l'effet des liaisons existant au sein des valeurs des temps intermédiaires, permettent d'identifier les liaisons existantes et de conclure si la série résiduelle est modélisable par un processus moyenne mobile (AR) ou auto-régressifs (MA) (Mélard, 2008).

Wang et al. ont construit un modèle autorégressif périodique décrivant le niveau de base du nombre de patients visitant les urgences (Wang et al., 2005). Ils concluent que ce type de modèle fournit une estimation plus robuste du niveau de base qu'un modèle ARIMA ou SARIMA et que son abord est plus simple puisque aucune transformation de l'historique

n'est nécessaire pour en retirer les composantes périodiques. Miller *et al.* ont modélisé le nombre de syndromes grippaux sur une période de référence de trois ans à partir des données d'un réseau de soins ambulants (Miller et al., 2004). Le modèle intègre l'effet jour de la semaine, une composante saisonnière (fonctions sinus / cosinus) et inclut en sus une composante autorégressive.

2.2.5.6 Prédiction par lissage exponentiel

Les techniques de lissage exponentiel peuvent être utilisées pour calculer une statistique de détection dans des cartes de contrôle (cf. 2.2.5.1) ou générer des prédictions. Le lissage exponentiel permet de calculer une prévision faite au temps t pour le temps $t+h$, notée $\hat{y}_t(h)$, en prenant en compte toute l'histoire de la chronique et en donnant un grand poids aux observations les plus récentes et moins de poids aux observations plus anciennes (Mélard, 2008). Dans le **lissage exponentiel simple**, la prévision ne dépend pas de l'horizon h de prévision :

$$\hat{y}_t(h) = \hat{y}_t(1) = L_t$$

Elle s'écrit :

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)L_{t-1} \qquad L_t = \alpha y_t + \alpha(1 - \alpha)y_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 y_{t-2} + \dots$$

α est la constante de lissage. Plus sa valeur est voisine de 1, plus l'influence des observations éloignées dans le temps est grande. La décroissance de l'influence est de type exponentiel (d'où le nom de la méthode). La variance de L_t est :

$$\sigma_L = \left(\frac{\alpha}{2 - \alpha}\right)\sigma_y$$

Le lissage exponentiel simple n'est pas adapté aux séries qui montrent une tendance ou de la saisonnalité mais peut être appliqué aux résidus d'un modèle de régression. Il est toutefois possible de généraliser le lissage exponentiel à des séries temporelles complexes en appliquant la méthode de Holt-Winters. La **méthode de Holt-Winters** (lissage exponentiel triple) est utilisée principalement en économie et son usage en épidémiologie est encore très limité. En plus du niveau L_t (pour Level), la méthode inclut deux termes récursifs additionnels. Ces termes peuvent être associés de manière additive, ou multiplicative, comme c'est le cas dans l'étude de (Burkom, 2003)

2.3 Approches spatiales

La plupart des DSS recherchant des regroupements géographiques de cas (agrégats spatiaux) se basent sur des tests du scan (« scan statistics ») développés par (Kulldorff, 1997).

2.3.1 Principe général

L'hypothèse nulle (H_0) traduit le fait que les cas sont répartis de façon homogène parmi la population à risque du domaine d'étude (absence d'agrégat). L'hypothèse alternative (H_1) traduit au contraire le fait que les cas ne sont pas répartis de manière homogène dans le domaine d'étude mais qu'il existe au moins une zone circulaire (un agrégat) où le nombre de cas est supérieur au reste du domaine d'étude. On note p la probabilité pour un point à l'intérieur de la zone circulaire Z d'être un cas et q la probabilité pour un point à l'extérieur de Z d'être un cas. Les hypothèses H_0 et H_1 s'écrivent :

$$H_0 : p = q$$

$$H_1 : p > q$$

Le test des scans propose de rechercher l'agrégat le moins conforme à l'hypothèse nulle et de tester sa significativité.

2.3.1.1 Identification de l'agrégat le plus probable

Le domaine d'étude est divisé en cellules (ex. des communes). Les données de chaque cellule sont agrégées et attribuées à des points (ex. le centroïde des communes), dont le géo-référencement peut se faire par des coordonnées cartésiennes ou de type latitude/longitude. On trace ensuite à partir de chaque point des cercles dont le rayon peut varier de 0 à une longueur telle que le cercle contienne au maximum 50% de la population du domaine d'étude. Les cercles tracés couvrent ainsi la totalité du domaine d'étude et représentent l'ensemble des agrégats potentiels, variant par la taille et la localisation.

Chaque agrégat est caractérisé par une fonction de vraisemblance qui dépend de l'hypothèse de distribution des cas choisie (cf. paragraphe 2.3.2). Le cercle qui maximise le rapport de vraisemblance constitue l'agrégat le plus probable¹, c'est à dire celui pour qui la probabilité d'être apparu par hasard est la plus faible.

2.3.1.2 Test de l'agrégat le plus probable

Le rapport de vraisemblance de l'agrégat le plus probable constitue la statistique de test, λ . La distribution sous H_0 de λ est obtenue à travers des simulations de Monte Carlo : n réplicats de l'échantillon sous l'hypothèse H_0 sont générés et λ est calculé pour chacun de ces échantillons.

La p-value de l'agrégat est égale au nombre de réplicats pour lesquels λ est supérieur à celui de l'échantillon réel, plus un. Généralement, on considère $M = 999$ ou $M = 9\,999$, ce qui permet d'obtenir 1 000 ou 10 000 échantillons en incluant l'échantillon réel. Plus le nombre de simulations de Monte Carlo est grand, plus la puissance du test est élevée. La p-valeur

¹ Il peut y avoir plusieurs agrégats probables. En effet, les agrégats secondaires sont définis comme les seconds plus probables et qui sont situés en dehors de la zone du premier agrégat.

associée à l'agrégat le plus probable permet de déterminer si cet agrégat est significatif (par exemple au seuil de 5%).

2.3.2 Modèles de distribution

Le test du scan peut être basé sur différentes hypothèses de distribution mais la méthode a initialement été développée à partir de modèles de Bernoulli et de Poisson.

La distribution de Bernoulli s'applique pour des données ponctuelles représentées par une variable binaire 0/1. Chaque unité de mesure correspond à un individu ou un autre type d'entité (ex. élevages ou communes), qui peut être dans l'un ou l'autre de deux états, par exemple malade/non malade, ou en alerte/sous contrôle.

Le modèle de Poisson est utilisé pour des données groupées générées par un processus de Poisson dans chaque unité spatiale. En absence de covariables, le nombre attendu de cas dans chaque unité est proportionnel à la taille de sa population.

Désormais la méthode a été enrichie d'autres types de distributions (multinomiale, ordinale, exponentielle et normale) ce qui permet de rechercher des agrégats pour d'autres types d'indicateurs (ex. mesures biologiques).

2.3.3 Ajustement sur des co-variables

La méthode permet d'ajuster le risque sur des co-variables dont la distribution géographique n'est pas aléatoire et dont on ne veut pas détecter les effets (c.à.d. qu'on ne souhaite pas détecter les agrégats expliqués par ces co-variables). Il est ainsi possible d'ajuster le nombre de cas attendus selon des données démographiques (âge, sexe). Le nombre de cas attendu selon d'autres types de co-variables peut aussi être calculé pour chaque unité spatiale et chaque unité de temps par une régression classique. Dans ce cas, le nombre attendu remplacera la population de référence dans le rôle du dénominateur.

2.3.4 Intérêts et limites

Même s'il existe d'autres méthodes, la méthode des scans présente plusieurs avantages (Fediaevsky, 2009). Elle permet notamment de :

- prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de la population testée et de certaines covariables ;
- d'utiliser différentes lois de distribution ;
- de détecter des agrégats sans a priori sur leur taille ou le nombre de cas inclus ;
- de tester spécifiquement les agrégats détectés et de fournir un niveau de significativité pour chacun d'entre eux.

De plus la mise en œuvre de cette méthode est facilitée par la disponibilité d'un logiciel gratuit et disponible sur internet, SatScan™. La méthode présente toutefois certaines limites puisqu'elle ne permet que de tester des agrégats de forme définie (circulaire, elliptique ou plus complexe) et que sa puissance diminue lorsqu'il y a de nombreux agrégats.

2.4 Approches spatio-temporelles

La principale approche utilisée en surveillance épidémiologique pour détecter un agrégat spatiotemporel est la statistique de scan spatio-temporelle (Kulldorff et al., 1998), qui est une adaptation directe de la statistique de scan spatiale. Au lieu d'utiliser des fenêtres circulaires, la méthode est utilisée avec des fenêtres cylindriques, ou la base circulaire se déplace dans l'espace et la hauteur du cylindre représente l'intervalle temporel. Ce test est appelé rétrospectif, par opposition à la statistique de scan prospective employée avec des données qui évoluent avec l'apparition de nouveaux cas. Cette dernière permet la détection d'agrégats émergents, qui se finissent au temps présent. Elle donne également un ajustement de la statistique prospective pour tenir compte des analyses répétées sur différentes périodes temporelles.

Malgré ses limites (par exemple la méthode ne permet pas de prendre en compte l'évolution de la surface géographique de l'agrégation au cours du temps), la statistique de scan spatio-temporelle reste la méthode la plus communément utilisée en épidémiologie-surveillance.

2.5 Mesure des performances

2.5.1 Indicateurs et méthode d'évaluation

Les performances des algorithmes de détection d'anomalies peuvent être évaluées de la même manière que celles d'un test diagnostique, en calculant une sensibilité (capacité à détecter une anomalie réelle), une spécificité (capacité à ne pas lancer d'alarme en absence d'anomalie) et des valeurs prédictives positive et négative. Un autre indicateur primordial pour ces algorithmes est la précocité, c'est à dire la rapidité avec laquelle une anomalie est détectée.

D'autres indicateurs plus spécifiques peuvent aussi être calculés selon la nature du système. Par exemple dans les algorithmes de détection d'anomalies temporelles, l'Average Run Length (ARL) a et r sont régulièrement évaluées (Sonesson and Bock, 2003). L'ARL r et l'ARL a sont respectivement les temps moyens entre deux alarmes quand le processus est « sous contrôle » et quand le processus est « hors de contrôle ».

Les outils méthodologiques pour mesurer les performances des algorithmes de détection sont variés (cf. Article 5), mais on peut distinguer principalement les évaluations menées des jeux de données réels de celles réalisées sur des jeux de données synthétiques. Dans deux revues menées sur ce sujet (Watkins et al., 2006; Buckeridge, 2007), les performances de détection étaient plus souvent réalisées en utilisant des données authentiques (73% et 63% respectivement) que synthétiques (17 et 37% respectivement), 10% des études utilisant les deux types de données. Sur les 38% de méthodes évaluées dans le cadre de DSS, huit études sur dix utilisaient des signaux synthétiques injectés dans un jeu de données de référence authentique.

2.5.2 Influence de la calibration

La sensibilité et la spécificité d'un système de détection d'anomalie sont intimement liées et dépendent grandement de la calibration des algorithmes, c'est à dire du choix des valeurs des paramètres et des seuils de détection. Toutes choses égales par ailleurs, l'amélioration

de la sensibilité en adaptant la calibration des algorithmes (par exemple en abaissant les seuils de détection) conduira à dégrader la spécificité et inversement.

Etablir l'équilibre adéquat entre spécificité et sensibilité représente une tâche délicate. Le coût associé à une identification trop tardive d'un foyer et celui engendré par la gestion des fausses alertes doivent être tous les deux quantifiés et limités (Buehler et al., 2004a). Un taux de fausse détection trop élevé cause une perte de temps et d'effort, diminue la confiance dans le système (Farrington et al., 1996), peut désensibiliser les utilisateurs et réduire la probabilité qu'ils réagissent aux futures alarmes (Jackson et al., 2007). Inversement, un système de détection doit être en mesure de détecter les foyers assez tôt pour que des mesures de gestion puissent être déployées assez tôt pour les contenir.

Lorsque la calibration des algorithmes ne suffit pas à obtenir les performances requises, des modifications de fond doivent être apportées au dispositif (qualité des données, choix de l'algorithme, échelle de surveillance, etc.).

2.5.3 Influence du niveau de base et du signal

En sus de la calibration des algorithmes, certains facteurs relatifs au niveau de référence ou au type de signal considéré feront varier les performances de détection.

A taille égale, les signaux sont plus difficiles à détecter si le niveau de référence de l'indicateur sous surveillance est haut et présente d'importantes variations aléatoires (Buckeridge, 2007; Jackson et al., 2007).

A niveau de référence égal, l'efficacité de la détection variera par ailleurs selon la magnitude, la forme et le moment de la survenue des signaux considérés (Reis et al., 2003).

La sensibilité et la précocité de la détection s'améliorent évidemment quand la magnitude du signal augmente par rapport au niveau de base. Dans l'étude de Buckeridge, les signaux avec une magnitude de moins de 10% du niveau de base étaient par exemple difficilement détectables (Buckeridge, 2007).

Le moment auquel se déclare un signal influence sa détection si les caractéristiques du niveau de base (ex. moyenne et variance) ne sont pas constantes : ainsi les signaux apparaissant les jours où le niveau de référence est bas sont détectés avec une plus grande sensibilité et une plus grande précocité que les signaux débutant les jours où ce niveau est haut (Buckeridge, 2007).

La forme du signal joue également un rôle important. Les algorithmes utilisés détectent en général avec plus de succès les signaux augmentant rapidement que ceux dont l'augmentation est moins brusque (Buckeridge, 2007). Ainsi à magnitude égale, la sensibilité de nombreux algorithmes est inversement proportionnelle à la durée des signaux. Par ailleurs, le type de distribution des cas constituant un signal varie selon la nature du phénomène considéré (Figure 9), ce qui peut affecter la précocité de détection (Buckeridge et al., 2005). Certaines études comparatives prennent en compte ce facteur de variation et testent les algorithmes sur différents types de distribution (Reis et al., 2003; Wang et al., 2005).

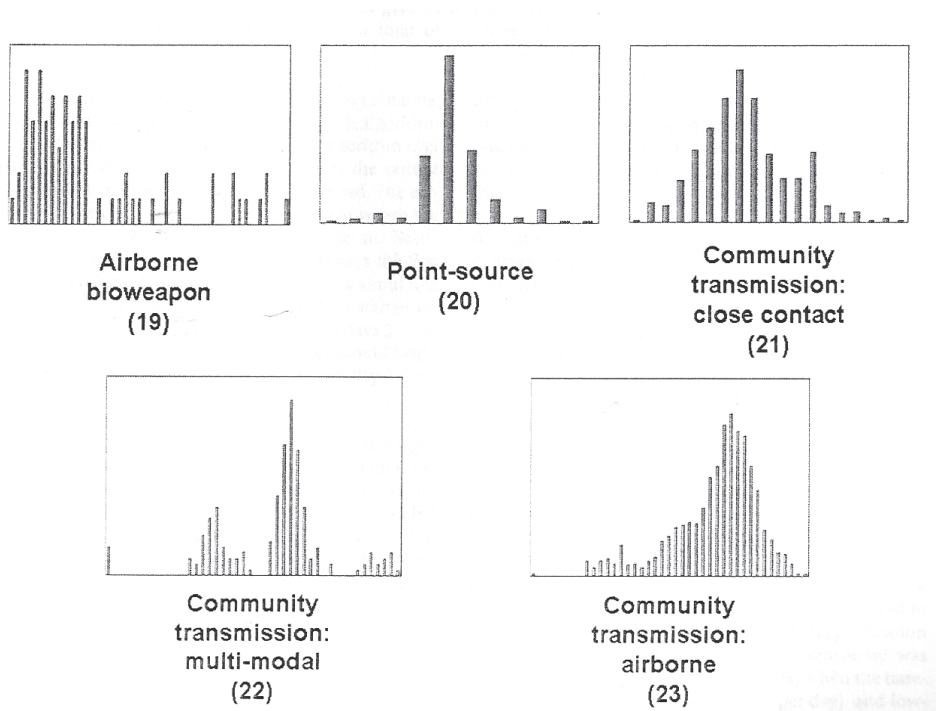


Figure 9 : Distributions temporelles utilisées pour simuler des foyers (Reis et al., 2003)

2.5.4 Comparaison des performances de différents algorithmes

Comparer les performances mesurées par différents auteurs est donc très difficile, car les méthodes d'évaluation employées et les conditions d'application (signal, niveau de base, calibration, etc.) des algorithmes diffèrent d'une étude à l'autre, lorsque leur description n'est pas tout simplement omise.

Des éléments de comparaison peuvent toutefois être tirés des études évaluant les performances de différents algorithmes avec les mêmes indicateurs et dans les mêmes conditions (niveau de référence et signaux identiques). Par exemple, parmi les six algorithmes temporels (trois méthodes de la famille-C, deux lissages exponentiels et un modèle de régression de Poisson) évalués par (Jackson et al., 2007) en superposant des foyers simulés à une série de données authentique, le modèle linéaire généralisé s'est révélé être le plus sensible.

Malheureusement les conclusions de ce type d'étude sont difficilement généralisables. Dans l'étude de Jackson, la performance supérieure du modèle linéaire généralisé était par exemple attribuée au fort effet hebdomadaire caractérisant la série de données utilisée, que les autres méthodes ne capturaient pas bien.

Ainsi il n'existe pas une méthode universelle qui, quelle que soit la situation, présente les meilleures performances. Au contraire, il semble incontournable d'évaluer les performances d'un éventail de méthodes sur ses propres données pour identifier la méthode la plus performante aux regards des objectifs fixés et des moyens disponibles (données, ressources informatiques et humaines).

3 Inventaire des dispositifs existants ou en développement en santé animale

Depuis une dizaine d'années, des projets de DSS sont à l'étude ou on été mis en place en santé animale, fournissant des éléments permettant de discuter de l'intérêt de cette nouvelle approche de surveillance épidémiologique.

L'inventaire des dispositifs existants ou en développement en santé animale a d'abord fait l'objet d'une recherche bibliographique. Cette recherche a ensuite été complétée par une enquête menée au sein de l'Union européenne dans le cadre du projet européen Triple-S (<http://www.syndromicsurveillance.eu>).

Nous présentons d'abord les résultats de la recherche bibliographique limités aux dispositifs existants ou en développement en dehors de l'Union européenne, puis les résultats de l'inventaire (revue de la littérature et enquête) mené dans l'Union européenne.

La synthèse des conclusions tirées de ces inventaires est proposée dans l'article présenté au paragraphe 3.3.

3.1 Inventaire des dispositifs hors Union européenne

3.1.1 Revue de la littérature

Les références ont été cherchées sur internet au mois de janvier 2011 à l'aide de différentes fonctionnalités du moteur de recherche Google ainsi que dans les bases de données scientifiques publiques PubMed et Science Direct, de manière à cibler aussi bien des articles publiés dans des revues scientifiques que des documents de travail consacrés à la surveillance syndromique en santé animale.

Les premières requêtes rédigées pour interroger les bases de données PubMed et Science Direct ont permis d'obtenir respectivement 44¹ et 40² résultats. Un certain nombre de références se sont révélées inappropriées. Les résumés (et le corps de texte quand nécessaire) ont donc été lus pour savoir si ces articles avaient bien un rapport avec la surveillance syndromique vétérinaire, ce qui a conduit à ne garder que dix de ces références. Nous avons donc lancé une nouvelle requête, plus large qui nous a permis d'identifier respectivement 200³ and 53⁴ résultats dans PubMed and Science Direct, dont seules 24 références ont été conservées après lecture des résumés.

Nous avons par ailleurs interrogé deux moteurs de recherche personnalisés de Google, conçus par un expert du ministère en charge de l'Agriculture. La même requête (*syndromic OR syndromique surveillance "animal health" OR "santé animale"*) a identifié 61 pages dans le moteur « Santé animale » et 216 dans le moteur « épidémiosurveillance ».

¹ veterinary[*sb*] AND (syndrom*[*Title/Abstract*]) AND (surveillance[*Title/Abstract*]) AND ("animal"[*Title/Abstract*] OR vet*[*Title/Abstract*])

² TITLE-ABSTR-KEY((syndrom*) AND (surveillance) AND (animal OR vet*))

³ veterinary[*sb*] AND ("surveillance"[*Title*] OR "monitoring"[*Title*] OR "early warning"[*Title*]) AND (syndrom*[*Title*] OR "non specific"[*Title*] OR "unspecific"[*Title*] OR "automated"[*Title*] OR "real time"[*Title*] OR "production"[*Title*] OR "pre diagnostic"[*Title*] OR "mortality"[*Title*] OR "death"[*Title*])

⁴ (syndromic) AND (surveillance) AND (animal OR veterinar*)[All Sources(Agricultural and Biological Sciences,Computer Science,Environmental Science,Veterinary Science and Veterinary Medicine)]

Des documents aux formats « .pdf » and « .ppt » ont finalement été cherchés dans le moteur de recherche standard de Google. La requête : « *allintext: veterinary OR veterinarian OR animal "syndromic surveillance" filetype:pdf* » a identifié 112 résultats dont sept étaient pertinents. La requête : « *allintext: veterinary OR veterinarian OR animal "syndromic surveillance" filetype:ppt* » a identifié 129 résultats dont cinq étaient pertinents

3.1.2 Systèmes basés sur le suivi de données cliniques (symptômes, syndromes, mortalité)

3.1.2.1 Animaux de compagnie

Le **National Companion Animal Surveillance Program (NCASP)** est un système conçu par l'université de Purdue pour exploiter la base de données d'une corporation regroupant 360 cliniques vétérinaires réparties dans 42 Etats des Etats-Unis (Moore et al., 2004). Les données sur les consultations conduites dans ces cliniques (Figure 10) sont centralisées dans une base, qui en 2006 représentait 12 millions d'animaux (amenés en consultation au cours des 4 années précédentes).



Figure 10 : Geographic distribution of Banfield Hospitals (•) (n=360) with open circles indicating major metropolitan areas having ≥ 8 Banfield hospitals within 50 mile radius, d'après Moore et al., 2004

Les informations enregistrées dans cette base de données sont analysées par le système Veterinary Medical Disease Surveillance Of Syndromes (VMD-SOS). En sus de données démographiques, le système collecte les signes cliniques observés (>500 codes), les tests de laboratoire conduits (>200 codes), les diagnostics (>1 000 codes) et les traitements spécifiques (>2 000 codes). Selon les essais menés par cette équipe, l'exploitation de cette base de données pourrait permettre la détection précoce d'agrégats d'événements sanitaires associés à des maladies infectieuses ou environnementales (Moore et al., 2004). A l'époque de la rédaction de l'article, le dispositif n'était pas encore opérationnel. L'intérêt des données collectées dans le cadre de ce système pour la santé humaine était exploré, il était notamment envisagé de suivre l'indicateur « fréquence de chiens infestés par des tiques » (Figure 11) pour surveiller et prévenir les épidémies de cas de Lyme chez l'Homme (Glickman et al., 2006).

Le NCASP a d'autre part été utilisé pour étudier les effets d'une pollution de l'environnement (cf. paragraphe 1.4.3.2).

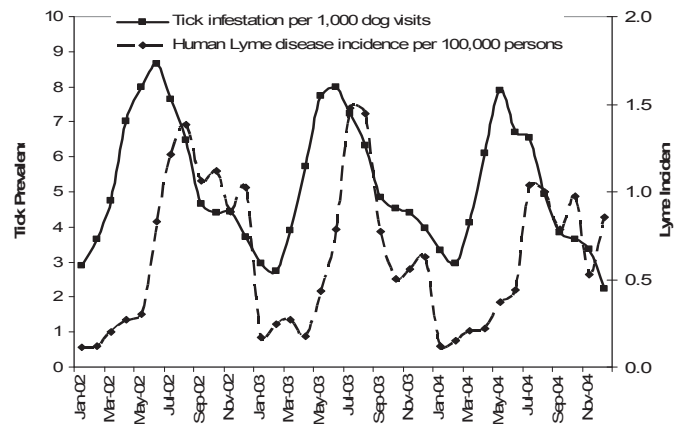


Figure 11 : Evolution du taux de chiens infestés par les tiques (pour 1000 consultations) et de l'incidence de la maladie de Lyme chez l'homme (par 100 000 personnes), d'après Glickman et al., 2006

En prolongement du NCASP, l'université de Purdue a développé une application, le **Linked Animal-Human Health Visual Analytics (LAHVA)**, permettant de visualiser simultanément les données en provenance des urgences humaines et celles de cabinets vétérinaires (Maciejewski et al., 2007). Les cartes calculées pour l'Indiana indiquent à la fois les regroupements de syndromes détectés chez les humains et les animaux de compagnie (chiens et chats) avec un pas de temps de la surveillance qui peut être quotidien, hebdomadaire ou mensuel. L'objectif est de détecter les événements qui affecteraient à la fois les humains et les animaux.

La **Composante animale du système de surveillance syndromique ESSENCE II** (Electronic Surveillance System for the Early Notification of Community-based Epidemics) était opérationnelle en 2003 dans la région de Washington (Babin, 2003). Les données étaient transmises quotidiennement par des cliniques privées, les agences sanitaires locales, les zoos, des universités, des associations, des centres de recherche agricole, des laboratoires vétérinaires... et comprenaient notamment les syndromes observés par les vétérinaires (Figure 12). Dans le Maryland, les rapports hebdomadaires Essence rapportent le nombre quotidien de demandes de ramassage des cadavres d'animaux de compagnie (Aslam, 2009), comme indiqué à la Figure 13.

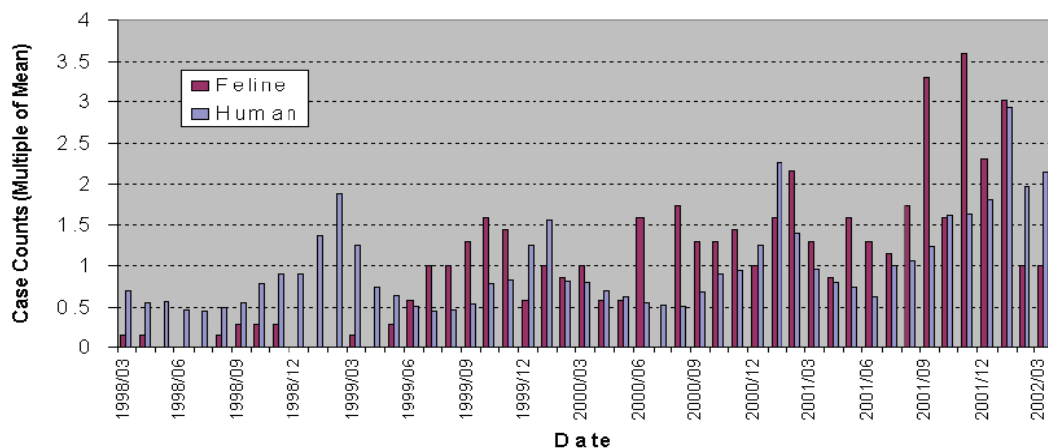


Figure 12 : Nombre de syndromes respiratoires observés chez les humains et les chats (en provenance d'une seule clinique vétérinaire), d'après Babin, 2003

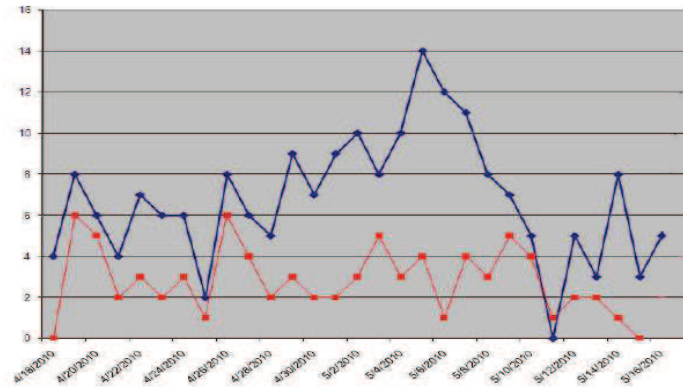


Figure 13 : Nombre d'appels quotidiens de demandes de ramassage de cadavres de chiens (rouge) et de chats (bleu), d 'après Aslam, 2009

3.1.2.2 Animaux de production

Le **Rapid Syndrome Validation Project-Animal (RSVP-A)** est un système électronique de notification de syndromes par les vétérinaires (De Groot, 2005). Une étude pilote a été menée dans le Kansas en collaboration avec l'université et le Département de l'Agriculture du Nouveau-Mexique, et les départements fédéraux de la Sécurité intérieure et de l'Agriculture. Les 28 vétérinaires participants avaient pour tâche de notifier au cours de leur travail de routine six syndromes (diarrhées non néonatales, syndromes neurologiques, morts subites, amaigrissements, avortements, lésions érosives) pouvant correspondre à un acte de bioterrorisme, à l'émergence d'une maladie ou à l'importation d'une maladie animale exotique. Le projet s'est heurté à la difficulté, d'une part de définir des syndromes (qui ne se recouvrent pas et soient communs à tous les vétérinaires) et d'autre part d'impliquer les vétérinaires dans le projet. Pour donner de l'intérêt à ce travail de notification, les données collectées ont été mises à disposition des vétérinaires qui le souhaitaient. Toutefois cette initiative n'a pas conduit les vétérinaires à visiter le site internet du projet de manière soutenue. Un système similaire à celui mis en place pour les bovins a été mis en place pour surveiller les syndromes observés chez les porcs dans le Minnesota (Davies et al., 2007). Le système décrit le nombre de syndromes par comté et leur tendance. Les vétérinaires peuvent visualiser les courbes épidémiques et les cartes décrivant la fréquence des événements détectés (définis par l'utilisateur).

Le **Veterinary practitioner aided disease surveillance system (VetPAD)** est un logiciel commercial développé en Nouvelle-Zélande destiné aux vétérinaires praticiens. Le logiciel qui fonctionne avec des ordinateurs portatifs permet aux vétérinaires d'enregistrer au cours de leur travail quotidien des données concernant le client, sa ferme, l'animal examiné, le diagnostic, le traitement, les prélèvements effectués, les médicaments vendus ou administrés et d'éditer des factures (McIntyre et al., 2003). En 2003, un échantillon de cabinets devait être sélectionné pour participer à un réseau de surveillance des diagnostics cliniques faits par les vétérinaires.

Dans des zones reculées d'Australie, il est difficile de mettre en place des systèmes classiques de notification de maladies contagieuses, en raison du manque de vétérinaires. Les auteurs ont donc étudié la mise en place d'un système, le **Bovine Syndrome Surveillance System (BOSS)**, enregistrant des informations syndromiques rapportées par les travailleurs agricoles (Zhang et al., 2007). La notification d'informations est réalisée via un site internet ou par des assistants digitaux personnels (PDA), qui permettent une notification plus

réactive mais sont capables de gérer moins de données. Le BOSSS contient des données sur environ 1 000 maladies des bovins (endémiques ou exotiques pour l'Australie) et 1 500 signes cliniques. En échange de la saisie des signes cliniques qu'ils ont observés, les utilisateurs obtiennent des informations sur les diagnostics possibles et sur les mesures à prendre. Selon la probabilité de maladie associée aux informations renseignées par l'utilisateur (le système fonctionne avec BOVID, un classificateur de Bayes), le système pose des questions plus précises sur les signes cliniques présents, afin d'affiner le diagnostic. Les utilisateurs ont accès à des données agrégées mais les données individuelles ne sont accessibles que par les utilisateurs autorisés. Les autorités sanitaires ont accès aux données correspondant à leur zone de responsabilité. Elles sont alertées lorsqu'un changement de fréquence dans les syndromes notifiés est détecté, via les deux algorithmes de détection (CuSum et WSARE).

Un **système de surveillance syndromique des porcs** a été mis en place en Alberta (Canada). Ce dispositif rassemble les données concernant la fréquence des signes cliniques (ex : problèmes respiratoires) observés dans le cheptel albertain à partir de plusieurs sources, incluant les vétérinaires, qui effectuent leurs notifications via un site internet sécurisé (Berezowski, 2008). Ces données syndromiques sont colligées dans une base de données en temps réel. Le système vise aussi bien à détecter des maladies émergentes que les modifications de fréquence des maladies déjà présentes.

Un prototype de système de surveillance **syndromique sur les marchés** aux bestiaux a été testé aux États-Unis en 2005 (Van Metre et al., 2009). Ces salles de vente aux enchères (environ 1 450 aux États-Unis) sont une voie d'échange importante en Amérique du Nord de bovins allaitants et laitiers, d'ovins et de porcins pour les petites entreprises de viande. Dans cette étude pilote, un vétérinaire était placé au bord de l'enclos de présentation d'une salle de vente et notait les signes cliniques observés sur les animaux. Ces signes étaient ensuite catégorisés en douze syndromes, dont la fréquence était exprimée en occurrence par nombre d'animaux observés. Pendant les trente jours d'étude, 30 000 animaux (dont 25 000 bovins) ont été observés. Trois syndromes (troubles respiratoires, maigreur, troubles de la locomotion ou posture anormale) ont représenté près de 93% des syndromes observés. Les syndromes les moins fréquents étaient la mort et les hémorragies, liées à des blessures ou non. En l'état, le système n'est pas adapté pour détecter des syndromes discrets (par exemple des lésions vésiculaires buccales), mais l'auteur suggère qu'un examen clinique plus approfondi pourrait être effectué sur les animaux pour lesquels un autre syndrome plus visible (difficulté de locomotion ou posture altérée) a déjà été identifié. L'équipe étudie actuellement la variabilité qui existerait si les observateurs placés dans les marchés étaient des étudiants vétérinaires de première année. Selon l'auteur, ces salles de vente sont des endroits très appropriés pour détecter précocement des maladies.

3.1.2.3 *Faune sauvage*

Contrairement aux animaux domestiques, qui peuvent faire l'objet d'examen cliniques réguliers, les animaux sauvages sont difficilement observables de leur vivant. En conséquence, la surveillance syndromique de la population sauvage est souvent limitée à la surveillance de la mortalité, ou au suivi des lésions observées sur les animaux trouvés morts.

La surveillance de la mortalité des oiseaux sauvages peut permettre d'évaluer la circulation de certains virus et améliorer la prévention et le contrôle des infections humaines. En 1999, des foyers d'infection au virus West Nile (WNV) ont été découverts dans la population

humaine et chez les oiseaux de l'Etat de New-York. Au cours des années suivantes, les personnes vivant dans les comtés où la densité hebdomadaire de corbeaux (*Corvus spp.*) morts était élevée, avaient un risque plus important (entre 2 et 8,6 fois) de déclarer la maladie dans les deux semaines suivantes, que ceux vivants dans des comtés où cette densité était plus faible (Eidson et al., 2005). Dans cet Etat, le CDC a mis en place un système de surveillance du WNV basé sur le suivi des oiseaux morts. Le nombre de cadavres découverts est notifié par les autorités sanitaires locales via internet (**Health Information Network**), ce qui permet de suivre en temps proche du réel la densité de corbeaux morts (DCD pour Dead Crow Density) par comté. Entre 2001 et 2003, cet indicateur a augmenté plusieurs semaines avant l'apparition des premiers cas humains (Figure 14).

La surveillance des oiseaux morts a ainsi permis de détecter l'activité du virus avant le premier cas humain, d'informer le public des risques encourus et de prendre des mesures de contrôle concernant les moustiques (vecteurs du virus). Toutefois des améliorations doivent encore être apportées pour permettre le partage en temps réel de l'information avec les partenaires de santé publique appropriés. Si plusieurs études ont montré l'intérêt pour la détection du virus West Nile du suivi de la mortalité des corbeaux, avant ou sans confirmation biologique de l'infection, d'autres ont relativisé cet intérêt (Ludwig et al., 2010), en raison de la dynamique de la démographie normale des oiseaux sentinelles (corbeaux américains, *Corvus brachyrhynchos*) qui présente des augmentations saisonnières de la mortalité « naturelle » non associées au WNV.

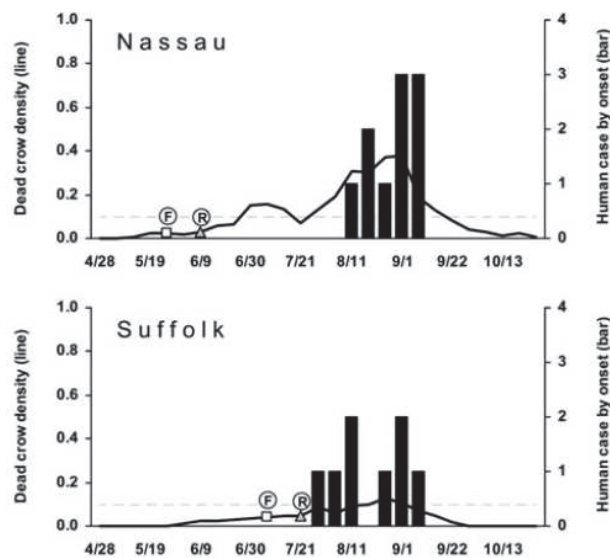


Figure 14 : Densité de corbeaux morts (DCD) par mille carré et nombre de cas humains de la maladie à virus West Nile (WNV) par semaine en 2002. La droite horizontale indique un DCD de 0.1, F. la date où le premier oiseau confirmé infecté a été trouvé et R. la date où le laboratoire a fourni le résultat pour cet oiseau, d'après (Eidson et al., 2005).

Un réseau de surveillance de la mortalité des animaux sauvages (**Animal Mortality Monitoring Network**) a été mis en place dans la forêt située à la frontière entre le Gabon et la République du Congo. L'objectif de ce réseau, conçu après qu'un premier foyer humain d'Ebola soit survenu en 2001 (Rouquet et al., 2005), est d'alerter précocement les autorités sanitaires pour qu'elles puissent prévenir les cas humains de cette maladie. De 2001 à 2005, 98 carcasses d'animaux sauvages ont été trouvées par les observateurs du réseau (principalement des chasseurs). Soixante-cinq de ces cadavres étaient des grands singes, dont 14 se sont ultérieurement révélés infectés par le virus Ebola. Le réseau a alerté deux

fois les autorités d'un risque élevé de foyers humains, plusieurs semaines avant qu'ils n'apparaissent effectivement. Le réseau se base normalement sur des analyses virologiques des carcasses pour confirmer la présence du virus mais dans la zone considérée, les carcasses se dégradent rapidement et la qualité médiocre des prélèvements augmente le taux de faux négatifs. Selon les auteurs, la surveillance des taux de mortalité des animaux sauvages serait donc un moyen de détecter la circulation du virus et d'informer les autorités et la population de la survenue possible ou probable de foyers humains (Figure 15).

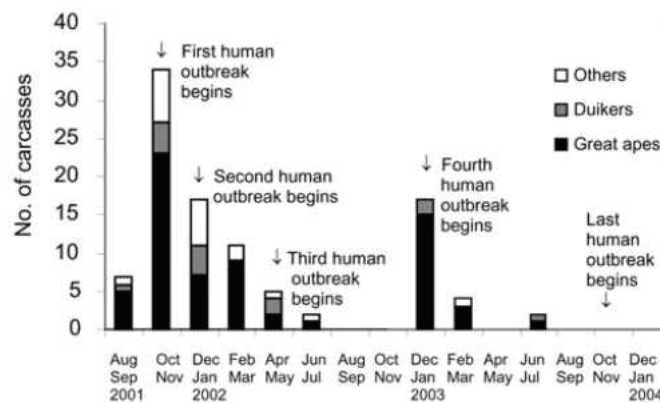


Figure 15 : Distribution temporelle des carcasses trouvées dans la forêt située à la frontière entre le Gabon et la République du Congo (2001-2003). D'après (Rouquet et al., 2005)

Enfin, certains auteurs se basant sur les études épidémiologiques et les rapports menés sur les foyers de peste (une maladie infectieuse causée par un bacille, *Yersinia pestis*, et propagée par les puces pouvant infecter l'Homme) estiment par ailleurs que l'observation d'une surmortalité inhabituelle chez les chats ou les rongeurs, réservoirs naturels de la bactérie, pourrait être un signal précédant l'apparition de foyers humains de peste, qu'ils soient d'origine volontaire (*Yersinia pestis* est un agent de bioterrorisme de catégorie A) ou non (Babin, 2010).

La réussite et l'intérêt de la surveillance de la mortalité des animaux sauvages est conditionnelle à de nombreux facteurs relatifs d'une part aux observateurs et d'autre part aux espèces surveillées. La fréquence et l'ampleur de l'information faite au public pour encourager la notification des animaux trouvés morts ainsi que le nombre de personnes vivant dans les endroits où l'on souhaite estimer le nombre d'oiseaux morts influenceront l'efficacité de la détection des cadavres.

L'exemple de l'infection au virus West Nile permet d'identifier certaines caractéristiques que les espèces sauvages doivent respecter pour être utilisées comme sentinelle. L'espèce doit en premier lieu être extrêmement sensible à l'infection et présenter un fort taux de létalité. Les animaux doivent par ailleurs être suffisamment grands, largement répandus et faciles à reconnaître (Eidson et al., 2005). Ainsi, les cadavres d'oiseaux grands et colorés sont plus souvent détectés dans l'environnement que les cadavres d'oiseaux plus petits et moins colorés (Ward et al., 2006). Les biais relatifs à la détection, la notification et la persistance des oiseaux morts, susceptibles d'influencer la surveillance du virus West Nile ont été étudiés aux Etats-Unis (Ward et al., 2006). Des leurres de corbeaux morts ont été disséminés au hasard dans l'état de Georgia et les facteurs faisant varier leur notification ont été évalués. Dans cette étude, 43% des oiseaux ont été détectés et seuls 10% ont été notifiés

aux autorités locales de santé. Les résultats suggèrent que la densité de population humaine et les facteurs associés peuvent substantiellement affecter la détection de corbeaux morts et leur notification, et ainsi la distribution perçue du WNV. La même équipe a étudié la persistance des carcasses. La plupart d'entre-elles (82%) disparaissaient ou étaient en état de décomposition avancé avant la fin des six jours d'étude. La persistance moyenne des carcasses était de 1,6 jour dans les aires rurales et de 2,1 jours dans les aires urbaines.

3.1.3 Systèmes basés sur le suivi d'autres types de données

3.1.3.1 Données de production

L'**Epidemiological Alert System and Aquaculture Management** est un système de surveillance de la productivité des crevettes mis en place en Equateur (Bayot et al., 2008). La zone de surveillance a été quadrillée en unités géométriques et un indice de productivité est calculé par unité à partir des données de production de chaque bassin. L'évolution des indices est évaluée chaque mois avec la méthode des moyennes historiques. Les unités sont identifiées sur les cartes de surveillance lorsqu'elles dépassent le seuil fixé. Les producteurs (19 fermes) entrent les données via internet. Des alertes sont lancées vers tous les producteurs et les autorités sanitaires lorsqu'une production suboptimale dans une région pourrait correspondre à l'apparition d'une épizootie.

Considérant que des changements d'incidence des lésions observées sur les animaux abattus pourrait fournir d'importantes informations pour la surveillance syndromique de la santé animale et humaine, l'Ontario a mis en place en 2001 un dispositif collectant les données d'abattoirs, le **Food Safety Decision Support System** (Alton et al., 2010). Pour l'instant le projet est consacré à l'étude des facteurs biologiques et non biologiques (année, saison, débit d'abattage, note de l'abattoir, type et prix des animaux) de variation du taux de saisie qui pourraient influencer la détection d'agrégats.

De manière similaire, un système de surveillance basé sur les données de saisies en abattoir est actuellement à l'étude par le *Center for Epidemiology and Animal Health* (CEAH) américain (Weber, 2009). Les services vétérinaires officiels disposent d'une base de données, l'**electronic Animal Disposition Reporting System (eADRS)**, enregistrant tous les rapports des saisies ante et post mortem. Les informations sont collectées à l'échelle des abattoirs à un rythme hebdomadaire. Elles indiquent le nombre d'abattages par espèce et catégorie d'animaux, la raison de la saisie déterminée par les inspecteurs. Les causes de saisie sont codées (on trouve par exemple chez les porcs : mort, maladies inflammatoires, pneumonies, septicémie, troubles cutanés, rouget, etc.). Une étude rétrospective a été menée sur les taux de saisie des porcs abattus dans l'Iowa, dont le cheptel porcin a été touché par un important foyer de rouget en 2001. Les taux de saisie pour cause de rouget précédant cette épizootie ont été analysés par deux méthodes (l'une exploratoire et basée sur un niveau de référence défini à partir de trois années d'historique, et l'autre basée sur des sommes cumulées des trois dernières semaines). Les auteurs pensent que l'analyse de ces données aurait pu permettre de détecter plus tôt l'épizootie de rouget et explorent désormais des méthodes basées sur des modèles linéaires généralisés.

3.1.3.2 Soumissions de prélèvements aux laboratoires d'analyse

En janvier 2009, l'**OMAFRA** a lancé au Canada une étude pilote de quatre ans pour évaluer si les demandes d'analyse reflétaient bien l'incidence de certaines maladies et pouvaient être

utilisées comme indicateur de surveillance (Zurbrig, 2009). Malgré la prise en charge des coûts, le nombre de prélèvements réalisés pour diagnostic est resté relativement faible dans les cliniques participantes, confirmant le fait que beaucoup d'animaux malades ne font pas l'objet de prélèvements à visée diagnostique. Le recours aux tests diagnostiques dans le domaine vétérinaire dépend de nombreux facteurs (économie agricole, perception du propriétaire et du vétérinaire sur la nécessité d'un diagnostic, ...) qui influencent la représentativité des soumissions de prélèvements. Sans être conclusive, l'étude suggère que le nombre de prélèvements envoyés aux laboratoires reflète mieux le nombre réel de syndromes constatés lorsque ceux-ci sont zoonotiques (syndromes neurologiques chez les chevaux) que lorsqu'ils sont ordinaires (diarrhées chez les veaux). De plus, comme le taux de soumission de prélèvements au laboratoire est bas, l'auteur conclut que cet indicateur n'est pas forcément représentatif de la prévalence ou de l'incidence des maladies des animaux de production.

Une autre **étude des soumissions de prélèvements** à un laboratoire de diagnostic vétérinaire a été menée dans le Maine (États-Unis) pour évaluer la pertinence et la faisabilité d'un dispositif de surveillance basé sur cet indicateur (Shaffer, 2007b). Un système a été conçu pour enregistrer les demandes d'analyse, les classer dans des catégories de syndromes et analyser leur nombre pour détecter des augmentations inattendues. Cette étude pilote a montré que le transfert automatique était réalisable et rapide. En comparant les dates auxquelles les laboratoires vétérinaires reçoivent les échantillons à analyser et la date à laquelle ils fournissent des résultats, l'auteur suggère qu'en moyenne la détection des foyers pourrait être réalisée trois à cinq jours plus tôt en se basant sur les soumissions de prélèvement plutôt que sur les résultats des tests biologiques. Les résultats semblent indiquer que ce système peut permettre la détection d'une activité infectieuse chez les animaux de compagnie, précédant des foyers zoonotiques dans la population humaine. En effet, deux augmentations du nombre de soumissions ont été associées à la propagation réelle d'une maladie associée à des syndromes gastro-intestinaux dans la population animale. Dans le premier cas, l'activité infectieuse dans la population animale a été accompagnée d'une augmentation du nombre de visites aux urgences de personnes se plaignant de troubles gastro-intestinaux et d'une augmentation des ventes d'anti-diarrhéiques. Dans le second cas, l'alerte provoquée par l'augmentation des soumissions de prélèvements aux laboratoires vétérinaires a précédé de 21 jours l'augmentation des syndromes gastro-intestinaux observés aux urgences (Shaffer, 2007a).

3.1.3.3 *Appels aux centres antipoison*

En 2002 le **Toxic Exposure Surveillance System (TESS)** a été mis en place aux États-Unis pour centraliser les informations collectées par les centres antipoison. En 2003, un système automatique et en temps réel de toxico-vigilance est venu enrichir le système initial. Le système surveille entre autres la fréquence des signes cliniques observés chez les humains et chez les animaux suite à une exposition à des poisons. La méthode des moyennes historiques est utilisée pour décrire l'évolution des 131 effets prédéfinis. Un courriel est automatiquement envoyé à des toxicologues qui évaluent si l'anomalie statistique a une importance pour la santé publique (Watson et al., 2005).

3.1.3.4 *Activité des médias et publications sur internet*

La base de données gérée par le Center for Emerging Issues de l'USDA, **Emerging Veterinary event database**, collecte des informations de surveillance syndromique trouvées dans les médias publics concernant les événements touchant la santé animale (GAO, 2010). Les sources sont électroniques (journaux en ligne, sites internet, listes de diffusion). La base est utilisée pour établir un niveau de référence des maladies animales et fournir un catalogue des événements sanitaires touchant la santé animale. Des rapports sont produits sur les événements jugés significatifs.

Un système de surveillance et classification automatique des informations mises en ligne sur internet pour la surveillance syndromique a par ailleurs été conçu par une équipe de l'université de l'Arizona (Zhang et al., 2009). Le système a été testé pour surveiller les mots-clés ou les phrases relatives à la fièvre aphteuse. Selon l'auteur, les systèmes de surveillance de l'occurrence de certains termes sur internet pourraient permettre d'identifier rapidement des foyers ou des situations de foyers potentielles.

3.2 Inventaire des dispositifs dans l'Union européenne

L'inventaire des dispositifs de surveillance syndromique vétérinaire existants ou en développement en Europe a été réalisé dans le cadre d'un projet européen intitulé Triple-S (Syndromic Surveillance Survey, *Enquête sur les systèmes de surveillance syndromique*), dont le but était d'accroître la capacité de l'Europe à exercer une surveillance de la santé publique en temps réel grâce à la surveillance syndromique (Triple-S project, 2010).

Cofinancé par la Commission européenne et piloté par l'Institut de veille sanitaire (InVS), le projet Triple-S, rassemblant 24 organisations de 14 pays, a été lancé le 22 novembre 2010 pour une durée de trois ans. Son conseil consultatif réunissait des représentants de la Direction générale santé et consommateurs de la Commission européenne (DG Sanco), le Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC), l'Organisation mondiale de la santé – Région Europe (OMS Europe) et la Société internationale de surveillance des maladies (ISDS).

Le consortium réuni autour de ce projet avait pour mission d'inventorier et décrire les DSS existants ou en projet dans les Etats membres et d'organiser des visites de huit sites, afin de livrer une analyse approfondie de ces systèmes et de leurs spécificités. L'objectif final était d'utiliser les connaissances et expériences accumulées par différentes équipes pour émettre des recommandations pour la conception et à la mise en place de tels systèmes, et favoriser leur harmonisation.

Le projet concernait aussi bien la santé animale qu'humaine. Nous avons été chargés de conduire l'inventaire pour la santé animale et d'organiser une conférence réunissant les experts vétérinaires impliqués dans des projets de surveillance syndromique identifiés.

L'inventaire des DSS vétérinaires en Europe que nous avons mené a fait l'objet de plusieurs communications orales lors des conférences organisées dans le cadre du projet Triple-S (Perrin et al., 2011a; Perrin et al., 2011; Perrin et al., 2011d) et d'autres conférences internationales (Fouillet et al., 2011; Perrin et al., 2011c). Il a par ailleurs donné lieu à la rédaction d'un rapport technique à destination de la Commission européenne, ainsi qu'à un article (Article 1) en préparation pour soumission à la revue *Preventive Veterinary Medicine*.

Cet article présente les réponses données à un questionnaire diffusé à des experts européens de la santé animale et les principales conclusions des discussions menées dans le cadre de la conférence vétérinaire sur la surveillance syndromique que nous avons organisée en septembre 2011 à Paris. Il présente une synthèse des caractéristiques des DSS vétérinaires européens existants ou en projet, leurs points communs et différences avec les DSS de santé humaine, ainsi que les synergies envisageables entre DSS de santé humaine et animale.

Les descripteurs des systèmes collectés par les questionnaires ont été analysés à l'aide d'une analyse multifactorielle qui a permis de distinguer deux groupes de systèmes. Le premier groupe de DSS correspondait aux systèmes autonomes, c'est à dire basés sur des données collectées à dessein, ciblant plutôt les animaux de compagnie et déjà opérationnels. Le second groupe correspondait aux systèmes intégrés, c'est à dire basés sur des données déjà collectées et ciblant les animaux de production. Les dispositifs de ce groupe n'étaient le plus souvent pas des dispositifs opérationnels mais des projets d'utilisation de bases de données

existantes et détenues par l'administration vétérinaire (ex. données d'identification, de traçabilité, etc.)

Globalement, très peu de DSS vétérinaires véritablement opérationnels ont été identifiés lors de cet inventaire. La plupart ne collectaient ni n'analysaient les données en temps réel et automatiquement, ce qui pose question quant la pertinence pour la santé animale des définitions de la surveillance syndromique proposées en santé humaine. L'analyse des données apparaissait comme un défi particulièrement difficile pour les équipes impliquées dans un projet de surveillance syndromique, ainsi que la diffusion des résultats.

Cet état des lieux a permis d'identifier les besoins des épidémiologistes vétérinaires pour que les dispositifs envisagés aboutissent et deviennent véritablement opérationnels. Ces informations seront exploitées dans le cadre de la rédaction des recommandations auxquelles doit aboutir le projet. Le réseau constitué permettra par ailleurs d'encourager l'harmonisation des pratiques entre les différents Etats membres pour faciliter de futurs échanges d'information ou de données.

3.3 Article 1 : Inventaire des systèmes de surveillance syndromique en Europe (projet Triple-S) : état des lieux actuel et perspectives

Inventory of veterinary syndromic surveillance systems in Europe (Triple-S project): current situation and perspectives

Dupuy, Céline¹; Bronner, Anne¹; Calavas, Didier¹; Hendrikx, Pascal²; Wuyckhuise-Sjouke, Linda³; Watson, Eamon⁴; Martin Reist⁵; Fouillet, Anne⁶; Perrin, Jean-Baptiste¹.

¹Unité Epidémiologie, Anses-Laboratoire de Lyon, Lyon

²Unité de surveillance épidémiologique, Anses - Direction scientifique des laboratoires, Maisons-Alfort

³Gezondheidsdienst voor Dieren (GD), Deventer

⁴Animal Health and Veterinary Laboratories Agency, Winchester

⁵SANISYS SA, Bienne

⁶Département de coordination des Alertes et des Régions, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Abstract

The Triple-S project, co-financed by the European Commission and involving twenty four organizations from fourteen countries was launched in September 2010 with the following objectives 1) performing an inventory of existing or planned Syndromic Surveillance (SyS) systems in Europe both in animal and public health; 2) building a network of experts involved in SyS; 3) producing guidelines to implement SyS systems; 4) developing synergies between human and animal health SyS systems.

This study presents the current state of veterinary SyS in Europe and its perspectives. The descriptive analysis distinguished two types of existing European SyS systems: the first type was based on private data, targeted companion animals and was often already operational, the second type was based on mandatory data, focused on livestock, and was at an earlier stage of development. Statistical analysis of syndromic data was identified as the main challenge in most of the existing or planned veterinary SyS systems. The inventory showed that very important amounts of data of interest for SyS are already collected around Europe, but few of them are properly analyzed.

The guidelines for the implementation of SyS systems and network of people involved in SyS elaborated by the Triple-S project could provide a solution to enhance and harmonize veterinary SyS in European countries.

Introduction

Traditional epidemiological surveillance systems aim at identifying the presence of a particular pathogen in a population by tracking potential cases and carrying out relevant laboratory tests on these individuals. These systems can be effective for the diseases they were designed for but may not be able to detect new health threats. The current context (globalization, global warming, animal and human population growth, bioterrorism threat, etc.) is favourable to emergence of new diseases (Jones et al., 2008). Health threats to come are unpredictable and even though potential threats could be identified, resources are too limited to implement systems dedicated to each of them. Facing this issue, epidemiologists have begun to explore new approaches in surveillance. One of them, called syndromic surveillance (SyS), draws more and more attention.

Syndromic surveillance was initially developed in 2001 by US authorities who were looking how to detect as early as possible bioterrorist attacks (Lazarus et al., 2001). In Europe, interest for SyS increased after the 2003 heat wave which led many Member States to implement such systems (Josseran et al., 2006; Kanieff et al., 2010). Since then, whereas several programs (mainly in human but also animal health) have been implemented or are under development, little information on them is available. The Triple-S project (Syndromic Surveillance Systems in Europe), co-financed by the European Commission and involving twenty four organizations from fourteen countries, was launched in September 2010 with the following objectives¹:

- performing an inventory of existing and planned SyS systems in Europe both in animal and public health;
- building a network of experts involved in SyS;
- producing guidelines to implement SyS systems;
- proposing a European strategy to enhance collaboration between European SyS systems;
- developing synergies between human and animal health SyS systems.

Inventories of SyS initiatives have already been conducted in the United States in 2008 (Buehler et al., 2008) and in Europe in 2011 (Kanieff et al., 2010). However both were limited to human health and the European survey considered only systems based on mortality. A review of the current initiatives in animal health was performed in 2011 (Dorea et al., 2011) but it was based on a literature review whereas most of the initiatives are likely not described in scientific papers because of the newness of the approach.

The Triple-S inventory was conducted in parallel in human and animal health. This paper presents the results of the inventory (literature review and survey) of SyS systems conducted in animal health, and the outcome of an experts meeting organized by the Triple-S project in Paris in September 2011 notably aiming at exploring the ways to improve synergies between human and animal health SyS systems. First, we describe the main features of the systems identified then we discuss possible improvement and more generally perspectives of this approach in animal health surveillance and the possible synergies with human health.

¹ www.syndromicsurveillance.eu

Material and method

Survey

The inventory was based on a survey conducted in two steps.

The first step consisted in disseminating a brief questionnaire to people potentially involved in SyS. These persons were identified through a grey and white literature review pertaining to veterinary SyS. The literature was searched on public scientific databases (Pubmed and Scencedirect) as well as on Google using advanced, customized search engine, and food safety agencies websites. This list of persons was thus completed with official contacts in animal health such as EFSA focal points, Chief Veterinary Officers (CVO), members of the European college of veterinary public health, members of the EFSA Animal Health and Welfare scientific panel and informal contacts of the Triple-S project partners. A brief questionnaire was sent to all these contacts together with a letter presenting the Triple-S project and defining what SyS is. Definition of Syndromic surveillance used for this review issued from the Triple-S kick-off meeting (Triple S. Project, 2011):

“Syndromic surveillance can be defined as “the rapid collection, analysis, interpretation and dissemination of health-related data to enable the early identification of the impact (or absence of impact) of potential human or veterinary public-health threats which require effective public health action.”

Syndromic surveillance is based not on the laboratory confirmed diagnosis of a disease but on non-specific health indicators including clinical signs, symptoms or mortality as well as proxy measures (e.g. drug sales, production collapse, etc.).

The data are usually collected for purposes other than surveillance and, where possible, are automatically generated so as not to impose an additional burden on the data providers. This surveillance tends to be non specific yet sensitive and rapid, and can augment and complement the information provided by traditional test based surveillance systems.”

Answers received from the brief questionnaire were analyzed to select systems that actually fit with the proposed definition of SyS.

The second step consisted in sending to the selected persons a detailed questionnaire to collect information on the main features of the system or project they are in charge of. The questionnaire design was inspired by the one used for the EUROMOMO project¹ (Kanieff et al., 2010), and was divided into eight parts: “personal information”, “general characteristics of the system”, “data providers”, “data collected”, “data analysis”, “data dissemination”, “use and evaluation of the system”, and “other comments”. Each person could fill in the questionnaire (a word file) and sent it back via e-mail, or fill in directly on the Triple-S website (<http://www.syndromicsurveillance.eu>) via a dedicated interface.

Factor analysis: MFA

The results of the questionnaires were entered into a MySQL database. A descriptive analysis was first performed. As the questionnaire included a lot of questions that involved describing the results through a large number of variables, a multivariate data analysis was performed to reduce the dimensionality of the dataset. For some questions, more than one answer was possible (e.g. a system could have more than one objective or data provider). In this case each answer was considered as a binary variable and thus a group of binary variables corresponded to one question. Multiple factorial analysis (MFA) was performed. It is a principal axes

¹ <http://www.EUROMOMO.eu/>

method used to analyze individual observations described by several groups of variables. The principle of this method, as all factor analysis methods, is to reduce data to their principal components (Bécue-Bertaut and Pagès, 2008; Escofier and Pages, 2008). “Objectives of the systems”, “Data providers” and “Population targeted” were chosen as active groups of variables. Influence of these groups was balanced by MFA (Escofier and Pages, 2008). “Motivation for transmission of data”, “Status of the system” and “Source of funding” were used as illustrative variables/groups of variables. Modalities of low effectiveness were merged to avoid instability in the MFA. The analysis was performed using FactoMineR package (Lê et al., 2008) from R software (R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>).

Meeting

A meeting of relevant veterinary experts identified through the survey was organized in Paris, September 12-14, 2011. The aim was to discuss SyS definition and typology in animal health, to present projects from each participant, and discuss the relevance of the approach and its perspectives in Europe.

The veterinary meeting was organized back to back with a similar meeting held on the human side. A joint session public/animal health was organized to allow experts to discuss the interest of synergies between both sides. The objectives of this session were to i) encourage experience and knowledge transfer, ii) discuss what and how information should be shared between both sides to improve respective performances.

Results

Implementation of the survey

The review of the literature identified fourteen scientific papers corresponding to ten veterinary SyS systems. Using official contacts in animal health, 234 persons were identified: EFSA focal points (n=36); Chief Veterinary Officers (n=27); members of the European college of veterinary public health (n=140); members of the EFSA Animal Health and Welfare scientific panel (n=21). Ten other informal contacts were added to the list.

A total of 248 brief questionnaire and associated letter were sent in April 2011. Twenty two answers were received from thirteen different countries. Among these answers, 26 contacts from ten countries were selected and a detailed questionnaire sent in July 2011 (some answers involved more than one SyS system), with a reminder on August 2011. Eighteen persons answered to the detailed questionnaire allowing the identification of 25 SyS systems. In August 2012, two other SyS systems were identified during a scientific congress and included in the inventory.

Finally, a total of 27 different systems from 12 different countries (Figure 1, Appendix 1) were identified among which eight were previously identified through literature review (of which two systems identified were not included in this study due to lack of response to the detailed questionnaire). A summary of each system and contact persons are available on the Triple-S website <http://www.syndromicsurveillance.eu>.

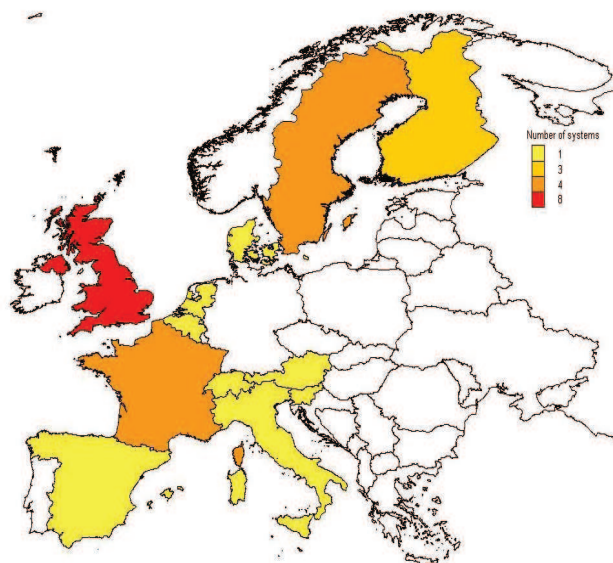


Figure 16: Map of the number of European veterinary SyS systems identified through Triple-S inventory process.

Descriptive analysis

General characteristics

Almost half of the systems (n=12, 44%) were declared in “active phase” whereas ten (37%) were in “pilot phase”. Four initiatives were only at the planning stage of using an existing database for SyS (Table 1). One system (Crescio et al., 2010) was completed and corresponded to a punctual study. Nine (33%) systems had more than one source of funding and two (7%) declared not needing any funding as the data was already collected for mandatory reasons. The major source of funding came from public sector (81% of systems (Table 1).

More than half of the systems (n=15, 56%) had more than one objective. Main objectives were: detection of outbreaks (n=12, 44%), surveillance of other threats (n=6, 22%), general health surveillance (n=19, 70%). Fourteen (52%) had another objective than these main ones, among which the most frequent (n=7) was the use of health indicators to classify farms according to health risk.

Nine (33%) systems targeted more than one animal population/species (divided in “livestock”, “pets and horses”, and “wild animals”). The more frequent targeted population was livestock animals (85% of SyS systems) (Table 1).

Table 1: Answers given to ten selected questions of the questionnaire. For each question, respondents could select more than one proposition. For each question, N is the number of respondents.

	Nb. of respondents having ticked the proposition	Proportion (%) of respondents having ticked the proposition / the number of respondents to the questions (N)		Nb. of respondents having ticked the proposition	Proportion (%) of respondents having ticked the proposition / the number of respondents to the questions (N)
Status of SyS system (N=27)			Indicator monitored (N=27)		
active	12	44	Clinical signs or symptoms	14	52
pilot phase	10	37	Mortality	14	52
database only	4	15	Syndromes	13	48
completed	1	4	Clinical diagnoses	12	44
Source of funding (N=27)			Autopsy lesions	8	30
Public	22	81	Laboratory test submissions	7	26
Professional organisation	7	26	Production indicators	5	19
Laboratories	4	15	Other indicator	5	19
Farmers	2	7	Drug prescriptions	4	15
Non-profit association	1	4	Website hits / Help line calls	2	7
Targeted population (N=27)			Frequency of data analysis (N=27)		
Livestock animals	23	85	Other frequency ²	8	30
Wild animals	7	26	Real or near real time	7	26
Companion animals	6	22	Quarterly	6	22
Horses	2	7	Annually	6	22
Reason for transmission of data (N=27)			Weekly	4	15
Mandatory	13	48	Monthly	4	15
Other motivation	13	48	Semestrially	2	7
Access to output	12	44	Daily	1	4
Financial compensation	2	7	Statistical methods used (N=23)		
Channel chosen for data transmission (N=26)			No statistical method	9	33
E-mail	10	38	Other methods ¹	7	26
Web portal	10	38	Historical Mean	4	15
Surface-mail	9	35	Regression model	4	15
Directly to database	7	27	Time-series methods	4	15
Telephone	4	15	Farrington method	1	4
Ftp site	1	4	Control chart	1	4
Transmission frequency (N=26)			Communication: addressee of the data (N=23)		
Real time or near	13	48	Data providers	18	67
Daily	5	19	Veterinary services	12	44
Weekly	5	19	Authorities	8	30
Other ¹	4	15	Public	7	26
Monthly	2	7	Limited public	6	22
Quarterly	2	7	Scientific community	5	19
			Professional organization	4	15
			Farmers	3	11

¹ biennial transmission or transmission only when case occurs

² twice a month, on demand or biennial

Data providers

Most of systems (n=21, 78%) had more than one data provider. Veterinary clinics, veterinary services, laboratories and slaughterhouses were the most frequent data sources (Figure 17).

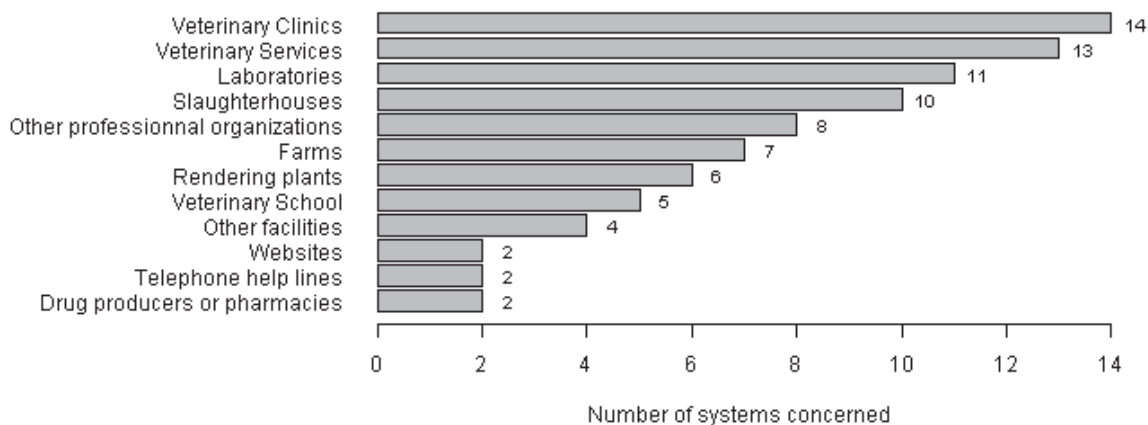


Figure 17 : Number of systems according to the type of data providers.

The geographical coverage was national for 23 (85%) systems. Ten (37%) and nine (33%) systems covered respectively 100% of data providers and 100% of animal population under surveillance of their country.

All systems had at least one type of data collected on an ongoing basis. Data collection was totally or partially automated for respectively six (22%) and thirteen (48%) systems. Twenty-one (77%) systems used already collected data (totally or partially). It was considered that there was no additional burden for data providers to collect these data for seven (26%) systems and the work was organized differently for thirteen (48%) systems.

The main reasons for data providers to transmit data were because it was mandatory (48% of systems) and in order to have an access to outputs (44%). Among the other motivations financial compensation, altruism and mutual benefit were specified (Table 1).

Most (38%) of systems used at least one electronically way of transmission of data and 35% still use paper at least partially (Table 1).

Thirteen (48%) systems transmitted data in real time or near real time (i.e. in less than 24 hours) (Table 1).

Data collected

Data collected were individual data for 23 (85%) systems. About 50% of these systems collected the date of observation or registration, owner residence, animal ID Number, age and breed and sex.

Among the 75% systems that were monitoring indicators, 18 (67%) were monitoring more than one indicator. For the 23 systems using medical observations (i.e. clinical signs or lesions), eleven (48%) did not use a coding system (i.e. closed list of medical observation). Among the twelve (52%) systems that had a coding system, nine had their own coding system, one system used a national coding system and two did not transmit the information in the questionnaire.

Data analysis and result dissemination

Among the 25 systems that performed analyses, eight (30%) systems analyzed data in real time, near real time or daily (Table 1). The two other systems did not yet perform analyses because they were in pilot phase. Among the 23 systems that transmitted information on the type of analysis performed, nine (33%) did not use anomaly detection methods but only carried out a descriptive analysis. The main methods used were historical mean, regression models and time-series methods. The “other methods” reported were spatial aggregation and z-est. Eight systems performed analysis automatically (Table 1).

Information was transmitted back to data providers for 18 (67%) systems and to general public for seven (26%) systems (Table 1).

Evaluation of the systems and synergies

Nine respondents declared that their systems had already been evaluated but evaluation conducted actually mostly regarded data quality and not the performances of the system.

Seven systems already shared outputs of their systems with human health systems and three planned to do so. Examples of synergies given were the transmission of information about alert, transmission of report with interpreted data and organization of common meetings.

Factor analysis: MFA

Three groups of active variables were used to perform MFA: Objectives of the system, Targeted species and Data providers. To avoid instability in the MFA, modalities of low frequency modalities were grouped (e.g. companion animals with horses for targeted population, veterinary school with veterinary clinics for data providers) (Table 2). Three groups of illustrative variables were used to help interpreting MFA results: Status of the system, Source of funding and Reason for data providers to transmit data (Table 1).

Table 2: Groups of active binary variables used in MFA (number of binary variables in each group).

Objectives of system (4)	Targeted species (3)	Data providers (11)
Detection of outbreaks	Livestock animals	Veterinary services
Surveillance of other threats	Companion animals and horses	Veterinary clinics and schools
General health surveillance	Wild animals	Drug producers or pharmacies
Other objectives		Laboratories
		Telephone help lines
		Websites
		Farms
		Slaughterhouses
		Rendering plants
		Other professional organizations
		Other facilities

Scree test (D'Agostino and Russell, 2005) suggested keeping three factorial axis for MFA interpretation. The three groups of active variables (Objectives of system, Targeted species and Data providers) had contributed to the construction of the first factorial axis of MFA for respectively 35.4%, 44.3% and 20.3%. The second factorial axis of MFA was mainly constructed by “objectives of system” and “data providers” with respectively a contribution of

37.7% and 55.2%. The three groups of active variables had contributed to the construction of the third dimension of MFA for respectively 33.5%, 23.0% and 43.5%.

The representation of active variables in the two first factorial axis space of MFA showed similar information. Only the two first factorial axis space of MFA is thus presented (Figure 18).

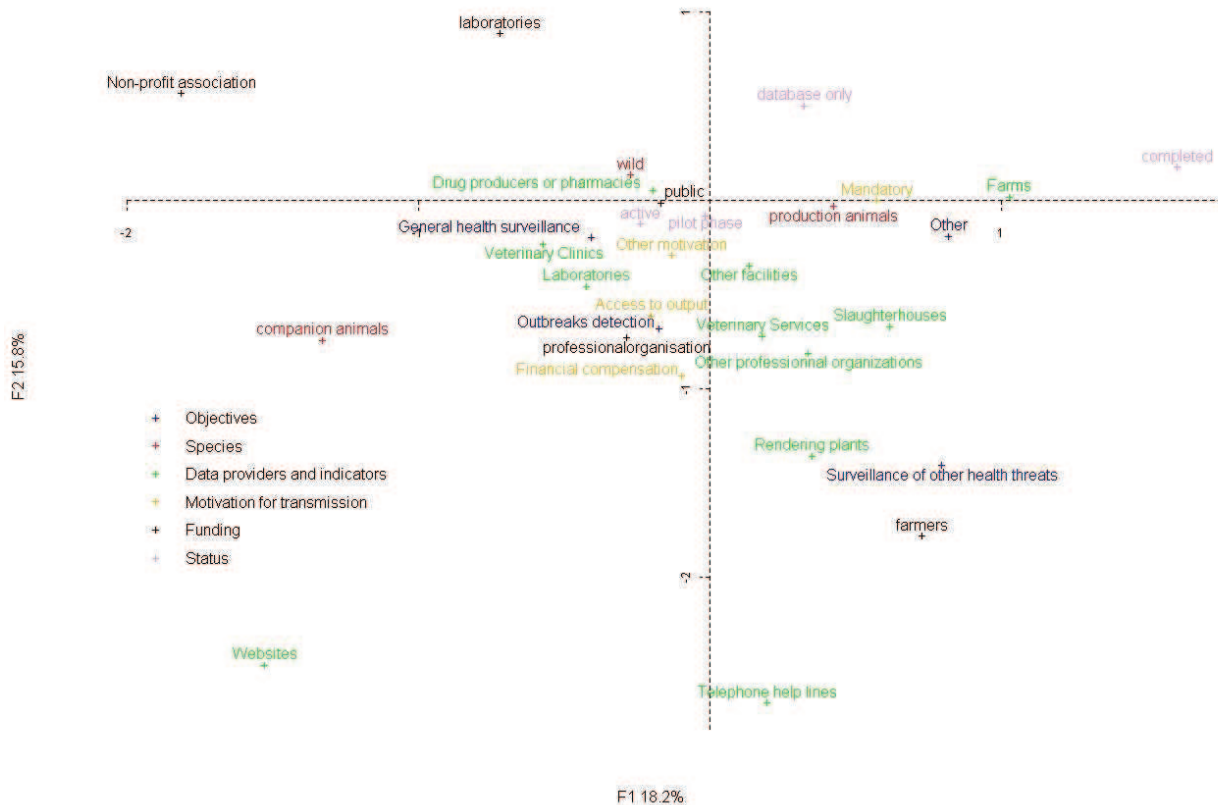


Figure 18: Representation of modalities equal to 1 of variables of MFA in the two first factorial axis space of MFA.

The two first factorial axis space of MFA made the distinction between two groups of data providers: the first one with farms, slaughterhouses, rendering plants, other professional organizations, and veterinary services, and the second one with veterinary clinics, laboratories, drug producers or pharmacies (Figure 18). The two first factorial axis space of MFA also distinguished livestock animals on one hand and wild and companion animals on the other hand. Looking at illustrative variables, the two first factorial axis space of MFA opposed two groups of motivations for data providers to share their data: mandatory motivation on one hand and financial compensation, access to output and other motivation on the other hand. It also opposed two different statuses of systems: existing database not yet used for surveillance (“database only”) on the right and active system on the left. In summary, the two first factorial axis space of MFA showed two groups of variables (Figure 18) that allowed us to distinguish two types of SyS systems:

- Systems based on data collected from public stakeholders such as veterinary services, or highly regulated data providers such as slaughterhouses, rendering plants and livestock professional (farmers and professional organizations). These systems targeted livestock animals in the objective of surveillance of particular health threats or had other objective such as classifying farms according to unspecific health

indicators. Data used for these systems were collected through a mandatory process. Systems of this group were mostly in an exploratory phase with no automated statistical analyses performed.

- Systems based on data collected from private data providers such as veterinary clinics, laboratories, drug producers or pharmacies that targeted companion or wild animals. These systems had mostly the objective to detect outbreaks or conduct general health surveillance. Systems of this group were more advanced than those of the other group.

Meeting

Nineteen experts (included four organizers from Anses) from eleven European countries participated in the veterinary meeting. Eleven existing and planned systems were presented followed by discussion on the different steps of the implementation of a SyS system.

Outcome of the meeting are described in the discussion section.

Discussion

Method of inventory

Among the 27 systems identified through the inventory process, only eight systems were previously identified through literature review that showed the relevance of the active approach adopted (i.e. conducting a survey). Indeed, as SyS in animal health is quite recent, few scientific publications on active systems exist and inventory only based on literature review may overlook many initiatives. Even if the inventory was not comprehensive (with no possibility to evaluate how many initiatives were missed), as the questionnaire was sent to many contacts, we suppose that most of the SyS have been listed and it allowed us to draft a first image of the veterinary SyS in Europe.

Current state of veterinary SyS in Europe

Only 27 SyS initiatives were identified and lots of were at a very early stage of development. Among the active systems described, few would actually be considered as SyS systems if we strictly applied the Triple-S SyS definition. Indeed data collection and analysis of many systems identified were neither real time nor automated. However the inventory showed that more and more data potentially suitable for veterinary SyS are now collected in Europe and that there is an increasing number of projects to valorize them through SyS.

Results of MFA showed that the most advanced SyS systems in Europe came from the private sector and focused on companion animals whereas systems using data mandatory collected in livestock sector are less advanced. SyS systems targeted on livestock animals seemed to be mainly focused on public data providers probably mainly because data are collected for mandatory purposes and are more simply accessible and harmonized.

Issues with accessing private data

A huge amount of data linked to animal health status (except mandatory collected data) are already and routinely collected for sanitary, economical or zootechnical reasons, but their centralization and real-time availability is not often effective for two main reasons. First, these data are most of the time collected by the private sector (e.g. farms, laboratories, drug producers or pharmacies, veterinary clinics) that is not willing to transmit information that could affect their commercial activity. Second, the multiplicity and diversity of private sector stakeholders curb the collection and centralization of data for logistical reasons.

Difficulties related to the willingness of data providers to share syndromic data could be overcome. The food industry is a highly regulated activity and food processing actors (e.g. slaughterhouses, animal product companies), unless they are private bodies, are often bind to collect and share information to guarantee food safety and traceability. But even in absence of regulation, access to data of interest could be made possible if data providers were properly rewarded. As the inventory showed, it is important to be imaginative on this point and in every case the objective is that data providers should have more benefit notifying an event than not notifying it. Rewards can consist in 1) financial compensation e.g. SIKAVA and NASEVA Finnish systems where farmers involved in the system sell their pigs and cattle for a better price to slaughterhouses (Ruoho et al., 2010) 2) benchmarking and feedback on data e.g. SAVSNET British system (Radford et al., 2010), 3) direct added value with an access to expertise such as GD-Veekijker telephone help desk (Bartels et al., 2006) or Moss emergencies 2 system (Barnouin and Vourc'h, 2004; Herr et al., 2009).

Logistical issue in collecting data from private sector could also be overcome. It is obvious that recording data should not be time-consuming for data providers. Duplication, i.e. notifications of the same event through two different channels, should be avoided. An interface with the software that stakeholders already use for the management of their activities is a simple and efficient way to collect data. Adequate software could also be directly provided by the manager of the SyS system e.g. SAVSNET (Radford et al., 2010) and Sikava use an interface with the software used by veterinarians for their practice management. However, it was possible because few different software were developed and used by data providers of the same country. The increasing size and decreasing number of professional organizations associated with the advances in information technology allow us being optimistic on this issue.

Importance and standardization of mandatory collected data across Europe

A great part of animal health regulation is now produced by the European Union, which requires MS to collect many data related to animal health to guarantee for example meat traceability. The volume of information collected by MS is more and more important but these data are still not often used for SyS, even if our inventory showed that several European countries have projects to do so.

Each MS had for example to implement a centralized database collecting all information on cattle identification and movement at the individual level within seven days. Theoretically, data on cattle population and mortality covering 100% of the European cattle population are thus collected. Several projects are based on these data but none uses them for real time surveillance.

The rendering of animals dead on farm is also an activity regulated at the European level: every person collecting and rendering dead animals has to share information with health authorities. Two systems in pilot phase using these data to monitor livestock mortality already exist: Omar in France (Perrin et al., 2010; Perrin et al., 2012) and Provimer in Spain (Arineo, 2011).

As data collection on cattle mortality is defined by European regulation, standardized data are theoretically available through Europe. Thereby, a European strategy to analyze these data could be conceivable as what was done in human health with the European project named EUROMOMO (Euromomo, 2008).

European mandatory data could help implementing similar SyS systems in different European countries and promoting communication of comparable outputs.

Perspectives and needs to improve SyS in Europe

Results of this inventory showed that even if more and more syndromic data (from veterinary clinics, slaughterhouses, fallen plants or laboratories) are now collected and sometimes accessible to animal health epidemiologists, there is a lack of knowledge on tools and strategy to analyze them. Moreover, even when data analysis is carried out, few systems have defined protocols to interpret statistical alarms and adequately answer them. Triple-S guidelines for implementing SyS are elaborated in the objective to fill in these gaps.

Most systems identified in this survey used existing data which were originally not collected for surveillance purpose as most of SyS systems. As a consequence, these data are cheaper to access but could be of insufficient quality for surveillance (bias, precision, etc.). This inventory showed that 41% of the systems did not use a coding system (i.e. predefined list of closed items). There is a clear lack of standardization of clinical information (name and definition of clinical signs, syndromes, causes of death, etc.) in veterinary sciences which is a hindrance to harmonization and comparability of data within one system and between systems. Several countries elaborated and used national or regional coding systems: Scandinavian countries (Finland, Sweden and Norway) share for example a common coding system for diagnosis and cause of death in cattle and pigs; Austria has developed a system close to the Scandinavian one, which is also used in some parts of Germany; A coding system was published in the Danish legislation for meat inspection of pigs and cattle, and in France for cattle meat inspection; In the UK there is a coding system for small animals which is commonly used (VENOM, 2012).

Comparability of outputs between SyS systems of different countries or within a country is an important issue for alert management and communication strategy because the spread of diseases is not impeded by country borders. For this purpose, the Triple-S proposal for European strategy on SyS aims at improving comparability of SyS systems outputs.

Limits of the SyS definitions

Most of the SyS definitions consider the real time collection and analysis of data as a main characteristic (Buehler et al., 2004; Hoinville et al., 2009; Hoinville, 2011; Triple S. Project, 2011). On one hand, many animal health SyS systems are mixing different notification systems and are partly real time (online data transmission) and partly not (data transmission through paper forms, registered later in the database). On the other hand, some systems are collecting data in real time, but from events that are not frequent e.g. clinical signs observed during quarterly farm visits.

Defining SyS according to the real-time collection of data is perhaps not adequate for animal health systems. Timeliness is a goal for all systems aiming at early detection and seems not specific to SyS. The implementation of a real-time process can cost a lot and its added value should be carefully evaluated. A balance between timeliness and costs has always to be found. Most survey respondents and meeting participants considered that real time was more an objective than an obligation for animal health SyS systems. For most, what really defined SyS was the nature of the indicators monitored. The border between traditional and syndromic surveillance is not yet so clear.

Synergies with human health

There is a real interest in developing SyS using existing databases but in animal health the implementation of such systems is at an initial stage compared to human health. Taking into account limits of traditional surveillance approaches to deal with infectious diseases, the Wildlife Conservation Society initiated since 2004 a global and preventive approach named One World-One Health. The objective was to strengthen the links between human health, animal health and environment as none of these sectors has enough knowledge and resources

to detect or prevent the emergence or resurgence of diseases in today globalized world (Zinsstag et al., 2005; Khan et al., 2009). Syndromic surveillance, as traditional surveillance, has to be considered from the perspective of the One health initiative.

Human and animal health epidemiologists are facing common statistical and epidemiological issues when dealing with SyS (e.g. use of data collected for other purpose than surveillance; standardization of clinical observations; syndrome definition; anomaly detection; interpretation of unspecific signals; response to alerts). Both sides have thus interest in sharing their experience and knowledge to improve their respective systems.

The results of the inventory of veterinary SyS systems showed that 40% of identified systems already shared or have planned to share information with the human health sector. For these systems the collaboration between human and animal health sectors was based on regular meeting to discuss the outputs of the systems e.g. GD – Veekijker (GD Animal health monitor) system in the Netherlands (Bartels et al., 2006), Farmfile system in the UK (Gibbens et al., 2008). Collaborations reported were mainly focused on zoonotic diseases certainly because zoonoses is a major concern nowadays since 75% of emerging infectious diseases have been identified as zoonoses (Jones et al., 2008; Khan et al., 2009).

It could be relevant to regularly share information to improve SyS systems performances on both sides in terms of timeliness, reactivity and awareness. Timeliness and sensitivity for detecting a threat common to human and animal can be better on one or the other side, depending on which species develop symptoms stronger and earlier after exposure (animal sentinel). West Nile disease is an interesting example because several countries have already implemented SyS systems with synergies between human and animal healths. SyS of West Nile disease could be based on both surveillance of wild bird mortality, horse neurologic syndromes and human clinical suspected cases. In the Netherlands and France, the West Nile SyS is based on the notification by veterinarians of neurological syndromes associated with previous fever (Rockx et al., 2006; Leblond et al., 2007). Horse West Nile cases usually precede human cases in Europe (Leblond et al., 2007; Leblond et al., 2010) in opposition to what has been observed in the USA and Canada (Corrigan et al., 2006). The increase of crow mortality monitored in the USA (Eidson et al., 2001; Witt, 2003; Eidson et al., 2005) associated with West Nile outbreaks was not observed in Europe (Durand et al., 2002; Guptill et al., 2003; Durand et al., 2005). These observations highlight the interest of synergies between human and animal health SyS systems for the early detection of zoonotic diseases but also the necessity to adapt SyS according to epidemiologic characteristics depending on geographical areas.

Other types of health events having an impact on both animal and human populations could theoretically be worth of synergies between the two sides. It could help to evaluate the impact of an identified health event, or reassure on the absence of impact of environmental pollution accident. Examples of this utility could be found in scientific articles outside Europe. Toxic Exposure Surveillance System (TESS) is an example of existing synergies between animal and human health in SyS. This system was implemented in USA in 2003 to collect in real time and centralize information from poison centres. Both clinical signs in humans and animals observed after exposure to poisons are monitored to detect aberrations (Watson et al., 2005). Another example is LAHVA (Linked Animal-Human Health Visual Analytics) which is a visual analytics framework for analyzing both human emergency data and veterinary hospital data implemented in USA. Maciejewski et al studied the correlations between respiratory syndromes representing the onset of seasonal influenza in humans and general respiratory syndromes in cats and dogs (Maciejewski et al., 2007). They also investigated the usefulness of using companion animals to detect unusual events such as environmental incidents (e.g. industrial wastewater release). Eye inflammation, respiratory, and

gastrointestinal syndromes were identified as relevant for this purpose (Maciejewski et al., 2007). In the USA, ESSENCE II is a SyS system based on both information from human and animal health sectors monitoring for instance the number of human and cat respiratory syndromes (Babin, 2003, 2010).

SyS produces unspecific alarms that need to be investigated. Sharing results between animal and human SyS could help excluding some artifacts and limiting the false alarm rate, if for example alarms are confirmed only when observed in animal and human populations, which are similarly exposed. Concomitant alert from human and animal systems would add confidence in a signal suggesting the presence of a health threat.

Conclusion

This study showed the current state of veterinary SyS in Europe and its perspectives. The descriptive analysis distinguished two types of existing European SyS systems. The first type of systems, more advanced was identified in the private sector and focused on companion animals whereas the second type was at an early stage, based on data mandatory collected and targeted the livestock sector.

Currently, among the surveillance systems considered as SyS by the veterinarian epidemiologists, there is none that fulfill all the requirements of the SyS definition used in this paper. The real or near real-time collection of data is notably often not carried out.

SyS systems are considered as complementary to other existing surveillance systems and are not meant to replace them. It is an additional tool to detect changes or events that would not be detected otherwise.

The statistical analysis was one of the weak points identified in most of the existing or planned veterinary SyS systems. A huge amount of data of interest for SyS is collected but few of them are analyzed properly. The guidelines for the implementation of SyS systems and network of people involved in SyS elaborated by the Triple-S project could provide a solution to enhance and spread veterinary SyS in European countries.

European regulation requires Member States to collect many data to guarantee for example meat traceability. It could be an asset to improve comparability of SyS inputs and thus outputs in European countries. Looking at the data collected in European countries, systems developed or planned in animal health, it seems relevant to think about implementing a SyS system based on animal mortality data as an extension of the existing EUROMOMO project in human health.

Synergies between human and animal health SyS should be relevant in the same way as for traditional surveillance especially for zoonotic diseases detection but not only. Detection of environmental incident and quantification of impact or reassurance on the absence of impact are other interesting fields for synergies. The transmission of outputs from both sides is the easiest way for such synergies even if the common collection and analysis of both human and animal health data is another option already chosen by USA systems.

Appendix 1: European veterinary surveillance systems projects having a syndromic component identified through the Triple-S inventory process with their main characteristics.

SystemNameShort (country)	Status	CA	LA	W	H	Main Objectives	Main Data providers	
GMON (AU)	ACTIVE		█			General health surveillance,	Veterinary clinics	
VETSTAT (DA)			█			Control of the usage of antimicrobials	Veterinary clinics, pharmacies	
Sikava (FI)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary services, Laboratories, Farms, Slaughterhouses,	
Naseva FI)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary Services, Laboratories, Farms, Slaughterhouses	
REPAMO (FR)					█	Outbreak detection	Laboratories	
SAGIR (FR)					█	Outbreak detection, General health surveillance	Laboratories	
GD Monitor (NL)		█	█	█	█	Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary services and clinics, Telephone help lines	
FarmFile (UK)				█	█	Outbreak detection	Veterinary services	
Equ. Surv. Reports UK)					█	General health surveillance	Veterinary services, clinics and school, Laboratories	
VetCompass (UK)		█				General health surveillance	Veterinary clinics	
Kodatabasen (SW)				█		Production management	Laboratories, Farms, Slaughterhouses	
EPI (SI)		█		█		Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary services and clinics, Pharmacies, Laboratories, Slaughterhouses , Rendering plants	
Animal Health System (SZ)		PILOTE PHASE		█			General health surveillance	Veterinary services and clinics, Farms, Slaughterhouses, Rendering plants,
MoSS-Emergences 2 (BE)				█			Outbreak detection	Veterinary services and clinics, Telephone help lines
Provimer (SP)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Rendering plants	
OMAR(FR)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Rendering plants	
NERGAL-abattoirs (FR)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Slaughterhouses	
VSD telephone log (UK)				█		Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary clinics, Laboratories	
Poultry practice data (UK)				█		General health surveillance	Veterinary clinics	
Innova AM and PM (UK)					█	General health surveillance	Slaughterhouses	
O48M (UK)				█		General health surveillance	Farms	
SAVSNET (UK)	█			█		Outbreak detection, General health surveillance	Veterinary clinics, Laboratories	
Kuukausi-ilmoitus (FI)	DATA BASE		█			General health surveillance	Veterinary services and clinics	
CDB (SW)						Other: not define yet	Farms, Slaughterhouses	
Djursjukdata (SW)		█		█		General health surveillance	Veterinary clinics and school	
SVALA (SW)				█		Management of the diagnostic process	Veterinary clinics Laboratories, Farms, Slaughterhouses, Rendering plants	
MBL(IT)	C		█			Surveillance of other health threats, Other	Veterinary services	

CA: companion animals; LA: livestock animals; W: wild animals; H: horses; C: Completed

Acknowledgements

The authors thank all participants to the Triple-S project activities and all respondents to the inventory's questionnaires.

References

- Arineo, L., 2011. Catalonia fallen stock surveillance system:PROVIMER. Triple-S veterinary meeting. France, Paris.
- Babin, S.M., 2003. Animal Bio-surveillance: presentation to the national park service interprogram response to zoonotic/environmentally transmitted diseases workshop In, Workshop - NPS Interprogram Response to Zoonotic/Environmentally Transmitted Diseases Public Health Program – Biological Resource Management Division.
- Babin, S.M., 2010. Using syndromic surveillance systems to detect pneumonic plague. *Epidemiology and Infection* 138, 1-8.
- Barnouin, J., Vourc'h, G., 2004. Les maladies émergentes : un défi pour le développement durable des productions animales. *INRA Productions Animales*, 17, 355-363.
- Bartels, C.J.M., Kock, P., Middelesch, H., Wouda, W., van Wuijckhuise, L., van der Zwaag, H., 2006. Cattle health surveillance in the Netherlands; how to interpret anecdotal and census data. In, the 11th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, Cairns, Australia
- Bécue-Bertaut, M., Pagès, J., 2008. Multiple factor analysis and clustering of a mixture of quantitative, categorical and frequency data. *Computational Statistics & Data Analysis* 52, 3255-3268.
- Buehler, J.W., Hopkins, R.S., Overhage, J.M., Sosin, D.M., Tong, V., Group, C.W., 2004. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks: recommendations from the CDC working group. In: Rep., M.R. (Ed.) CDC, p. 11.
- Buehler, J.W., Sonricker, A., Paladini, M., Soper, P., Mostashari, F., 2008. Syndromic surveillance practice in the United States: Findings from a survey of State, Territorial, and Selected local health departments. *Advances in disease surveillance* 6, 20.
- Calavas, D., Perrin, J.-B., Dupuy, C., Ducrot, C., Savey, M., Hendriks, P., in press. Quelle est la valeur ajoutée de la surveillance syndromique pour la détection de phénomènes pathologiques nouveaux. *Epidémiologie et santé animale* 61.
- Corrigan, R.L., Waldner, C., Epp, T., Wright, J., Whitehead, S.M., Bangura, H., Young, E., Townsend, H.G., 2006. Prediction of human cases of West Nile virus by equine cases, Saskatchewan, Canada, 2003. *Preventive Veterinary Medicine* 76, 263-272.
- Crescio, M., Forastiere, F., Laurella, C., Ingravalle, F., Ru, G., 2010. Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Preventive Veterinary Medicine* 97, 191-197.
- D'Agostino, R.B., Russell, H.K., 2005. Scree Test. *Encyclopedia of Biostatistics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Dorea, F.C., Sanchez, J., Revie, C.W., 2011. Veterinary syndromic surveillance: Current initiatives and potential for development. *Preventive Veterinary Medicine* 101, 1-17.

- Durand, B., Chevalier, V., Pouillot, R., Labie, J., Marendat, I., Murgue, B., Zeller, H., Zientara, S., 2002. West Nile virus outbreak in horses, southern France, 2000: results of a serosurvey. *Emerging Infectious Diseases* 8, 777-782.
- Durand, B., Dauphin, G., Zeller, H., Labie, J., Schuffenecker, I., Murri, S., Moutou, F., Zientara, S., 2005. Serosurvey for West Nile virus in horses in southern France. *Veterinary Record* 157, 711-713.
- Eidson, M., Kramer, L., Stone, W., Hagiwara, Y., Schmit, K., 2001. Dead bird surveillance as an early warning system for West Nile virus. *Emerging infectious diseases* 7, 631-635.
- Eidson, M., Schmit, K., Hagiwara, Y., Anand, M., Backenson, P.B., Gotham, I., Kramer, L., 2005. Dead crow density and West Nile virus monitoring, New York. *Emerging Infectious Diseases* 11, 1370-1375.
- Escofier, B., Pages, J., 2008. *Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation.* DUNOD Paris.
- Euromomo, 2008. European Monitoring of Excess Mortality for Public Health Action. Homepage on the internet. Available from www.euromomo.eu.
- Gibbens, J.C., Robertson, S., Willmington, J., Milnes, A., Ryan, J.B., Wilesmith, J.W., Cook, A.J., David, G.P., 2008. Use of laboratory data to reduce the time taken to detect new diseases: VIDA to FarmFile. *Veterinary Record* 162, 771-776.
- Guptill, S.C., Julian, K.G., Campbell, G.L., Price, S.D., Marfin, A.A., 2003. Early-season avian deaths from West Nile virus as warnings of human infection. *Emerging Infectious Diseases* 9, 483-484.
- Herr, C., Barnouin, J., Ren, L., Boone, I., Dispas, M., 2009. "Emergences 2", an early warning system to accelerate the detection and identification of emerging animal diseases in Belgium. In: AEEMA (Ed.), *Epidemiologie et Santé Animale*. France, pp. 165-172.
- Hoinville, L., 2011. *Animal Health Surveillance Terminology Final Report from Pre-ICAHS Workshop.*
- Hoinville, L.J., Ellis-Iversen, J., Vink, D., Watson, E., Snow, L., Gibbens, J., 2009. Discussing the development and application of methods for effective surveillance in livestock populations. Pre-ISVEE surveillance workshop, Durban, South Africa.
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990-994.
- Josseran, L., Nicolau, J., Caillere, N., Astagneau, P., Brucker, G., 2006. Syndromic surveillance based on emergency department activity and crude mortality: two examples. *Euro Surveillance* 11, 225-229.
- Kanieff, M., Rago, G., Minelli, G., Lamagni, T., Sadicova, O., Selb, J., Vantarakis, A., Conti, S., 2010. The potential for a concerted system for the rapid monitoring of excess mortality throughout Europe. *Euro Surveillance* 15.
- Khan, R.E., Clouser, D.F., Richt, J.A., 2009. Emerging infections: A tribute to the one medicine, one health concept. *Zoonoses Public Health* 56, 407-428.
- Lazarus, R., Kleinman, K.P., Dashevsky, I., DeMaria, A., Platt, R., 2001. Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection. *BMC public health* 1, 9.

- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25, 1-18.
- Leblond, A., Hendrikx, P., Sabatier, P., 2007. West Nile virus outbreak detection using syndromic monitoring in horses. *Vector-borne and zoonotic dis* 7, 403-410.
- Leblond, A., Valon, F., Hendrikx, P., 2010. Epidémiologie des maladies vectorielles chez les équidés en France, *Bull Acad Vet Fr* 163, pp. 149-157.
- Maciejewski, R., Jang, Y., Ebert, D.S., Cleveland, W.S., Ouzzani, M., Grannis, S.J., Glickman, L.T., 2007. LAHVA: Linked Animal-Human Health Visual Analytics. *Advances in Disease Surveillance* 4, 1.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Gauffier, A., Calavas, D., Hendrikx, P., 2010. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics* 2, 207-214.
- Perrin, J.B., Ducrot, C., Vinard, J.L., Morignat, E., Calavas, D., Hendrikx, P., 2012. Assessment of the utility of routinely collected cattle census and disposal data for syndromic surveillance. *Preventive Veterinary Medicine* 105, 244-252.
- Radford, A., Tierney, A., Coyne, K.P., Gaskell, R.M., Noble, P.J., Dawson, S., Setzkorn, C., Jones, P.H., Buchan, I.E., Newton, J.R., Bryan, J.G., 2010. Developing a network for small animal disease surveillance. *Veterinary Record* 167, 472-474.
- Rockx, B., Van Asten, L., Van Den Wijngaard, C., Godeke, G.-J., Goehring, L., Vennema, H., Can Der Avoort, H., Van Pelt, W., Koopmans, M., 2006. Syndromic surveillance in The Netherlands for the early detection of West Nile virus epidemics. *Vector-borne and zoonotic diseases* 6, 161-169.
- Ruoho, O., Kortensniemi, P., Halkosaari, P., 2010. Transferring data from farm to slaughterhouse "on-line" via centralized register. XXVI World Buiatrics Congress. Santiago, Chili.
- Triple S. Project, 2011. Assessment of syndromic surveillance in Europe. *The Lancet* 378, 1833-1834.
- VENOM, 2012. Veterinary Nomenclature.
- Watson, W.A., Litovitz, T.L., Belson, M.G., Funk Wolkin, A.B., Patel, M., Schier, J.G., Reid, N.E., Kilbourne, E., Rubin, C., 2005. The Toxic Exposure Surveillance System (TESS): Risk assessment and real-time toxicovigilance across United States poison centers. *Toxicology and Applied Pharmacology* 207, 604-610.
- Witt, C., 2003. Electronic Surveillance System for the Early Notificaton of Community-based Epidemics (ESSENCE). Department of Defense Global Emerging Infections System.
- Zinsstag, J., Schelling, E., Wyss, K., Mahamat, M.B., 2005. Potential of cooperation between human and animal health to strengthen health systems. *The Lancet* 366, 2142-2145.

4 Conclusion sur la surveillance syndromique

La surveillance syndromique représente un véritable changement de paradigme en matière de surveillance épidémiologique. Depuis son apparition en 2001 aux Etats-Unis et son essor en Europe en 2003, l'approche n'a cessé d'évoluer. Son principe, son intérêt et son articulation avec les réseaux de surveillance existants font toujours l'objet d'après discussions dans la communauté scientifique et chez les professionnels de santé. En effet, ce concept est intellectuellement séduisant mais n'a jusqu'à présent que partiellement concrétisé les espoirs placés en lui.

Si les performances réelles des dispositifs de surveillance syndromique restent à démontrer, l'exploration de cette approche alternative en surveillance épidémiologique est cependant justifiée par les limites de l'approche actuelle qui consiste à entretenir une multitude de systèmes coûteux pour surveiller des maladies à prévalence nulle à très faible. Ainsi, un million d'euros continue d'être annuellement dépensé en France pour rechercher la brucellose en cas d'avortements chez les ruminants, pour ne trouver finalement aucun cas de brucellose (de 2003 à 2012) et risquer de passer à côté d'autres causes (par exemple la fièvre de la vallée du Rift).

Dans un contexte où les moyens disponibles sont réduits et où l'étendue des dangers à surveiller est grande, explorer toutes les possibilités de la surveillance syndromique est donc une nécessité. Le potentiel de cette approche semble d'autant plus important que les avancées récentes en matière de collecte et transmission de données rendent possible la mise en place de dispositifs jusque là inenvisageables. Les perspectives offertes semblent particulièrement intéressantes pour le domaine vétérinaire, où pour des raisons économiques (ressources limitées des propriétaires) un diagnostic formel est moins souvent atteint qu'en santé humaine. L'inventaire que nous avons mené a montré la diversité des dispositifs imaginés en santé animale. En Europe et ailleurs, les projets de surveillance syndromique qui se développent varient par leurs objectifs, les sources de données exploitées, les indicateurs employés et les méthodes pour en assurer le suivi.

Parmi ces projets, les dispositifs de surveillance basés sur la mortalité, un indicateur primordial de santé, occupent une place particulière. Pourtant, il n'existe actuellement pas de dispositif de surveillance de la mortalité animale aujourd'hui en France, malgré la mise en place par l'administration française depuis le début des années 2000 de plusieurs systèmes d'information collectant rapidement et de manière exhaustive des données sur la mortalité animale et notamment bovine.

Nous avons vu lors de notre revue sur la surveillance syndromique qu'une étude approfondie des facteurs de variation du niveau de référence (c.à.d. en dehors de toute crise sanitaire) des indicateurs utilisés doit être préalablement conduite afin d'optimiser les méthodes de détection d'anomalies et de faciliter l'interprétation des anomalies ultérieurement observées (Alton et al., 2010). Avant de nous consacrer à la recherche et la quantification d'excès de mortalité (Chapitre 3), nous menons donc dans le deuxième chapitre une étude détaillée de la mortalité des bovins en France et de ses déterminants, et proposons une modélisation de son niveau de référence.

CHAPITRE 2.

LA MORTALITE DES BOVINS EN FRANCE

Après avoir présenté les principaux concepts relatifs à la mortalité et les deux grandes sources de données sur la mortalité bovine en France, nous décrivons dans ce chapitre la structure et les flux populationnels caractérisant la population bovine. Nous étudions ensuite en détail la mortalité dans cette population et proposons une modélisation de son niveau de référence. Enfin, nous décrivons les principales causes de mort des bovins en France à partir de travaux originaux, cette information n'étant pas collectée par les dispositifs existants.

1 Concepts relatifs à la mortalité

1.1 Abattage, euthanasie et mort naturelle

La mortalité ne peut pas être étudiée de la même manière dans les populations humaines et dans la population bovine, une population d'élevage dont la mortalité est contrôlée, au moins en partie, par l'Homme.

Quelle que soit leur orientation zootechnique (viande ou lait), tous les bovins sont en principe destinés à être abattus et consommés pour leur viande. On peut distinguer les abattages de boucherie, qui concernent des animaux ayant atteint l'âge et l'état d'engraissement requis pour donner un produit déterminé (ex. veaux de lait, jeunes bovins de boucherie), et les abattages de réforme, qui interviennent à la fin de la carrière productive des vaches laitières ou des mères allaitantes. Le choix des animaux réformés dépend de plusieurs facteurs dont l'âge, mais aussi l'état de santé des animaux (des problèmes de reproduction diminuant la rentabilité de l'animal conduiront notamment à une réforme rapide).

En parallèle des abattages, qui désignent la mise à mort d'animaux dont la viande est destinée à la consommation, surviennent des morts d'animaux dont la carcasse est impropre à la consommation humaine. Ces morts peuvent être assistées (euthanasies) ou non. Contrairement aux carcasses destinées à la consommation humaine qui sont préparées dans les abattoirs, les cadavres d'animaux morts naturellement ou par euthanasie sont traités dans les centres d'équarrissage.

La réglementation interdit d'abattre un animal visiblement malade, mais comme nous l'avons évoqué, certains animaux sont abattus en raison d'une dégradation de leur santé (problèmes de fertilité, boiterie) qui aurait peut-être engagé leur pronostic vital à plus ou moins long terme. Le suivi de ces morts nécessiterait une qualification précise de l'état sanitaire des animaux abattus qui est en pratique difficilement envisageable.

Dans cet exposé, nous nous concentrerons donc sur les morts hors abattage, que nous désignons par « mortalité ».

1.2 Distinguer la mortalité normale de la mortalité pathologique

Utiliser la mortalité comme indicateur pour la surveillance épidémiologique semble aller de soi, tant cet indicateur est un descripteur essentiel de l'état de santé d'une population. En réalité, distinguer le « normal » du « pathologique » en termes de mortalité est délicat, puisque tout être vivant est destiné à mourir.

En médecine collective, le normal est défini par rapport à la distribution statistique d'une variable dans une population donnée. La norme peut-être la moyenne des valeurs prises par la variable (ex. cas d'une variable quantitative distribuée normalement) ou l'une des valeurs qu'elle peut prendre (ex. cas d'une variable qualitative à distribution binomiale) (Calavas, 1998). L'écart à la norme correspond à une modalité inacceptable d'une variable qualitative ou une valeur inacceptable d'un variable quantitative.

De même, la mortalité « anormale » peut être définie d'un point de vue qualitatif, c'est à dire selon les caractéristiques individuelles des morts observées (concepts de mortalité

prématurée et de mortalité évitable), et/ou d'un point de vue quantitatif, c'est à dire en comparant le niveau de mortalité observé par rapport à un seuil préétabli (concept de mortalité de référence).

1.3 Mortalité prématurée et mortalité évitable

Le critère le plus simple pour distinguer individuellement les morts « anormales » des morts « normales » est l'âge. En France en santé humaine, certains épidémiologistes utilisent le terme de "mortalité prématurée" pour désigner les décès survenant avant l'âge de 65 ans (Da Silva and Ferley, 2012). Ce concept est toutefois d'une utilité réduite en santé animale, où la durée de vie des animaux est fixée a priori par l'éleveur (et généralement courte par rapport à l'espérance de vie de ces animaux), et où toutes les morts survenant avant l'abattage pourraient être considérées comme prématurées.

La distinction peut aussi être faite sur la cause ou les circonstances de la mort. Les épidémiologistes de santé humaine emploient par exemple le concept de mortalité "évitable", proposé pour la première fois en 1976 puis régulièrement mis à jour (Rey and Jouglu, 2011), pour décrire les morts attribuables à des causes dont la maîtrise ne nécessite ni connaissance médicale supplémentaire, ni équipement nouveau mais qui sont liées à des comportements individuels et à l'efficacité du système de santé. En France, le concept le terme de mortalité évitable est plutôt associé aux comportements à risque (alcoolisme, tabagisme, conduite routière dangereuse, etc.) et correspond à des morts évitables par le biais de la prévention primaire (réduction de l'exposition). Dans les pays anglo-saxons, la mortalité évitable est plutôt liée à la qualité du système de soins (morts par cardiopathies ischémiques, cancer du sein, mortalité maternelle et périnatale) et correspond à des morts évitables par le biais de la prévention secondaire (dépistage et actes médicaux).

En santé animale, on pourrait de la même manière identifier les morts d'animaux qui auraient pu être évitées à l'aide de mesures de prévention primaire (ex. accidents liés aux conditions de stabulation, maladies infectieuses introduites dans l'élevage par l'achat d'un animal) ou secondaire (ex. morts lors de la mise bas, fièvres de lait, etc.).

On peut donc considérer que l'objectif général des systèmes de surveillance de la mortalité est d'identifier les morts évitables et ainsi donner aux gestionnaires du risque les moyens de prévenir une partie de ces morts si ce n'est la totalité.

1.4 Mortalité de référence

Dans la plupart des dispositifs de surveillance, les caractéristiques individuelles des morts observées ne définissent pas à elles seules une anomalie : on admet la survenue de certaines morts pourtant évitables parce qu'on ne souhaite ou ne peut pas les prévenir toutes (pour des raisons économiques notamment). Dans ce cas, l'anomalie est définie de manière quantitative, en comparant le niveau de mortalité observé dans une population (mesurable par différents indicateurs, comme par exemple le taux de mortalité) à un seuil préétabli. L'appréciation peut être purement quantitative (ex. suivi du niveau de mortalité brut, sans information sur les individus morts ou les causes de mort), ou éventuellement prendre en compte certaines informations liées aux individus (âge, sexe) ou au type de morts (cause, évitabilité, etc.).

Les seuils de déclenchement des actions en aval (investigations, mesures de prévention) peuvent être fixés de manière théorique selon les objectifs à atteindre (ex. objectif zéro mort évitable), ou par rapport à la mortalité observée dans une autre population prise comme référence. La population de référence peut englober la population surveillée (ex. la mortalité à l'échelle nationale peut être la référence pour évaluer la mortalité au niveau d'un département), ou être tout à fait distincte (ex. la mortalité d'un département peut être utilisée comme référence pour les autres départements). La comparaison de la mortalité dans deux populations distinctes s'effectue la plupart du temps après standardisation directe ou indirecte (par exemple sur l'âge et le type de production chez les bovins). La mortalité de référence peut aussi être la mortalité survenue dans la même population mais à une période antérieure. Dans ce cas les anomalies sont des augmentations de la mortalité jugées « inhabituelles » au regard de l'historique disponible.

2 Données disponibles

Deux principales sources de données sur la mortalité existent en France : le registre national d'identification et des mouvements bovins et le registre national de l'équarrissage.

2.1 Le registre national d'identification et des mouvements

En France, le système d'identification des bovins se base actuellement sur quatre piliers : i) l'apposition aux oreilles de chaque animal de deux repères d'identification permanents, au plus tard à l'âge de 21 jours et toujours avant la sortie de l'exploitation ; ii) l'attribution à chaque bovin d'un passeport comportant les références de l'exploitation et de l'animal ; iii) la tenue dans chaque exploitation d'un registre des bovins où toutes les naissances, entrées et sorties sont recensées ; iv) l'enregistrement dans une base nationale des informations relatives aux détenteurs d'animaux, aux exploitations, aux animaux détenus, à leurs mouvements et à leur identification. La structure et le fonctionnement de ces registres nationaux relève d'exigences réglementaires européennes et nationales.

2.1.1 Réglementation européenne

La mise en œuvre dans chaque Etat membre d'une base de données informatisée sur l'identification des bovins a été introduite par le règlement 820-97 (abrogé et remplacé par le règlement 1760-2000), suite à la crise de la « vache folle ». Pour chaque animal, la base doit contenir le numéro d'identification, la date de naissance, le sexe, la race, le numéro d'identification de la mère, le numéro d'identification de l'exploitation de naissance, les numéros d'identification de toutes les exploitations où l'animal a été détenu et les dates de chaque mouvement, ainsi que la date de la mort ou d'abattage (Union européenne, 1997). Dès lors que la base était opérationnelle, les détenteurs d'animaux ont été tenus de notifier à l'autorité compétente tous les mouvements d'animaux (dont les morts), dans un délai fixé par l'Etat membre et compris entre trois et sept jours (Union européenne, 2000). Ces informations doivent être conservées dans la base de données trois années après la mort de l'animal.

Les registres nationaux d'identification représentent donc en théorie une source de données sur la mortalité des bovins à la fois exhaustive, rapidement mise à jour et harmonisée à l'échelle européenne. Les données enregistrées dans ces bases permettent de plus de

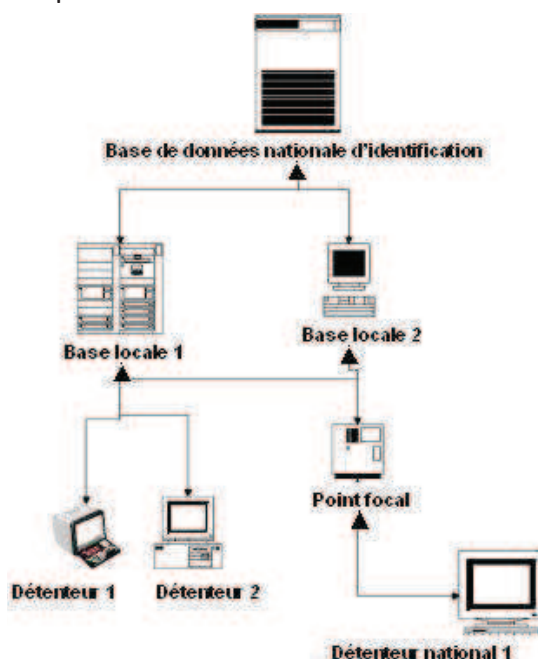
connaître à tout moment et de manière très précise la population vivante dans chaque exploitation.

2.1.2 La Base de données nationale d'identification bovine (BDNI)

La Base de données nationale d'identification bovine (BDNI) a été créée en France en 2000 en application du règlement européen 820-97. Depuis, elle centralise l'ensemble des données d'identification bovine qui était jusqu'alors collectées au niveau départemental par des maîtres d'œuvre locaux, le plus souvent les Etablissements départementaux de l'élevage (EDE). Les EDE continuent de saisir toutes les informations réglementaires avant de les transmettre à la BDNI (Figure 19). Elles peuvent fixer des règles de fonctionnement propres pour leur département, sous réserve que celles-ci soient conformes au règlement et soumises à l'avis de la Commission départementale d'identification (CDI).

Les fichiers envoyés par les EDE à la BDNI subissent un contrôle vérifiant la structure des messages, la présence des données obligatoires et la conformité des codifications utilisées. Un message appelant à une correction est envoyé à la maîtrise d'œuvre locale en cas d'anomalie. Les maîtres d'œuvre locaux de l'identification (EDE ou autre) mettent à disposition des éleveurs ou détenteurs de bovins des moyens légaux de transmission de l'information (document de notification ou notification électronique). Ces derniers sont tenus de notifier à l'EDE tous les événements (naissance, entrée, sortie) concernant les bovins dont ils sont responsables. Les notifications transmises par les éleveurs indiquent le numéro national de l'animal, la date du mouvement, la cause du mouvement (ex. naissance, achat, prêt, vente, abattage, mort, etc.) et le numéro d'exploitation du précédent (dans le cas d'une entrée) ou du nouveau (dans le cas d'une sortie) détenteur.

La bonne exécution de ces notifications est vérifiée à l'occasion de contrôles (dits IPG pour Identification Permanente et Généralisée) qu'effectuent les agents des Directions départementales en charge de la protection des populations (DDecPP) dans les exploitations.



1/ La Base de Données Nationale Identification (BDNI)

Elle est administrée par le ministère en charge de l'agriculture (Maître d'ouvrage national du système). La BDNI dispose des données de référence. Elle détecte les incohérences entre les notifications faites par des détenteurs œuvrant dans des zones différentes.

2/ Les logiciels de gestion locale de l'identification

Il existe 44 bases de données locales couvrant l'ensemble du territoire national métropolitain (Corse comprise), gérées par 10 familles de logiciels de gestion locale de l'identification. Ces logiciels sont administrés par les maîtres d'œuvre locaux de l'identification (un par département). Ce sont soit des EDE soit par délégation des GDS (groupement de défense sanitaire) ou des organismes de contrôle de performances.

3/ Le point focal

Le point focal est unique. Il permet aux opérateurs nationaux de transférer vers un point unique l'ensemble de leurs notifications. Il a un rôle de routage de l'information.

4/ Logiciels des détenteurs

Ils permettent actuellement aux détenteurs de gérer leur exploitation (gestion technique, technico-économique ou commerciale) et permettent de plus en plus de gérer les notifications de naissances, de mouvements et les commandes de boucles d'identification.

Figure 19 : Architecture du dispositif d'enregistrement de l'identification bovine (Klopp, 2001)

2.1.3 Notification des sorties pour cause de mort

Lorsque la sortie de l'exploitation se fait pour cause de mortalité, le détenteur complète le passeport (date de sortie, signature) de l'animal qu'il remet à la personne en charge d'enlever le cadavre et renseigne le document de notification de mouvement (en indiquant « M » pour mort comme cause de sortie) qu'il transmet à l'EDE dans les sept jours. Les éleveurs doivent normalement notifier la date de mort de l'animal, mais une très grande partie des notifications de sortie semblent en réalité indiquer la date de ramassage de l'animal par l'équarrissage (cf. Chapitre 3).

L'identification (attribution d'un numéro national et d'un passeport) des veaux mort-nés, c'est à dire des veaux qui naissent morts ou qui meurent dans les 48 heures suivant la naissance, n'est pas obligatoire à l'échelle nationale. Le choix de rendre obligatoire l'identification des veaux mort-nés ne peut être effectué qu'à l'échelon départemental après avis de la CDI. En revanche, les éleveurs ont l'obligation de notifier ces événements à l'EDE, en indiquant la mention « mort-né » en lieu et place du numéro national dans le document de notification de mouvement. En conséquence, deux modalités coexistent en France pour la notification des veaux mort-nés. Si l'animal a été identifié, il est enregistré dans la BDNI comme tous les autres bovins, mais avec un mouvement de naissance et un mouvement de sortie le même jour. S'il n'a pas été identifié, l'événement est enregistré dans la base Veaux Morts Nés (VMN) et reçoit un numéro réservé à dix chiffres non associé à des boucles.

2.1.4 Données contenues dans la BDNI

Les études de la population et de la mortalité bovine réalisées dans le cadre de cette thèse ont été menées à partir de deux types de fichiers extraits de la BDNI : le fichier des bovins et le fichier des périodes de détention.

2.1.4.1 Fichier des bovins

Le fichier des bovins liste tous les bovins qui ont vécu sur le sol français depuis la mise en place de la base. Pour chaque bovin sont renseignés les champs indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Liste des champs renseignés dans la table bovins

CHAMPS	Commentaire
COD_PAYS_ANI	Code pays
NUM_NAT	Numéro national
DATE_NAISS	Date de naissance
NUM_EXP_NAISS	Numéro d'exploitation de naissance
SEXÉ	Sexe
TEMOIN_NAISS	Témoin de naissance
TYP_RACE	Type racial
DATE_PREM_VELAGE	Date de premier vêlage (si sexe =2)

Une copie de cette table extraite de la BDNI au 28/01/2009 était ainsi constituée de 50 477 345 lignes.

2.1.4.2 Fichier des détentions

Les notifications d'entrée et de sortie collectées sont enregistrées sous la forme d'un fichier listant les temps de présence des animaux dans chaque exploitation où ils ont été introduits et qui comptent onze champs (Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des champs renseignés sur les périodes de détention

CHAMPS	Commentaire
COD_PAYS_ANI	Code pays du bovin
NUM_NAT	Numéro national du bovin
CAUSE_ENTR	Cause d'entrée dans l'exploitation
DATE_ENTREE	Date d'entrée dans l'exploitation
CAUSE_SORT	Cause de sortie de l'exploitation
DATE_SORTIE	Date de sortie de l'exploitation
NUM_EXP	Numéro d'exploitation
DEP_EXP	Département de l'exploitation
DEP_ORIGINE	Département de l'exploitation précédente
DEP_SORT	Département de l'exploitation suivante
PAYS_ORIGINE	Pays origine du bovin si <> de FR

La copie de cette table réalisée au 28/01/2009 comptait 63 787 686 lignes.

2.1.4.3 Couverture du cheptel et délais de notification

La BDNI couvre théoriquement l'ensemble du cheptel bovin, car les propriétaires d'animaux sont légalement tenus de notifier les informations sur leurs bovins et leurs mouvements. La conformité de ces déclarations est d'ailleurs l'un des principaux objets de contrôle par les services vétérinaires (contrôles IPG). En revanche, la BDNI ne contient que les notifications de mouvements issues des exploitations agricoles, mais ne contient pas celles des centres de rassemblement et des exploitations de négoce.

Plus de 80% des mouvements sont notifiés à la BDNI dans un délai inférieur à sept jours (seuil réglementaire). Les délais de notification sont toutefois variables selon la nature du mouvement, avec de manière générale une notification plus rapide pour les mouvements des animaux de race laitière que pour ceux de race allaitante (Figure 20).

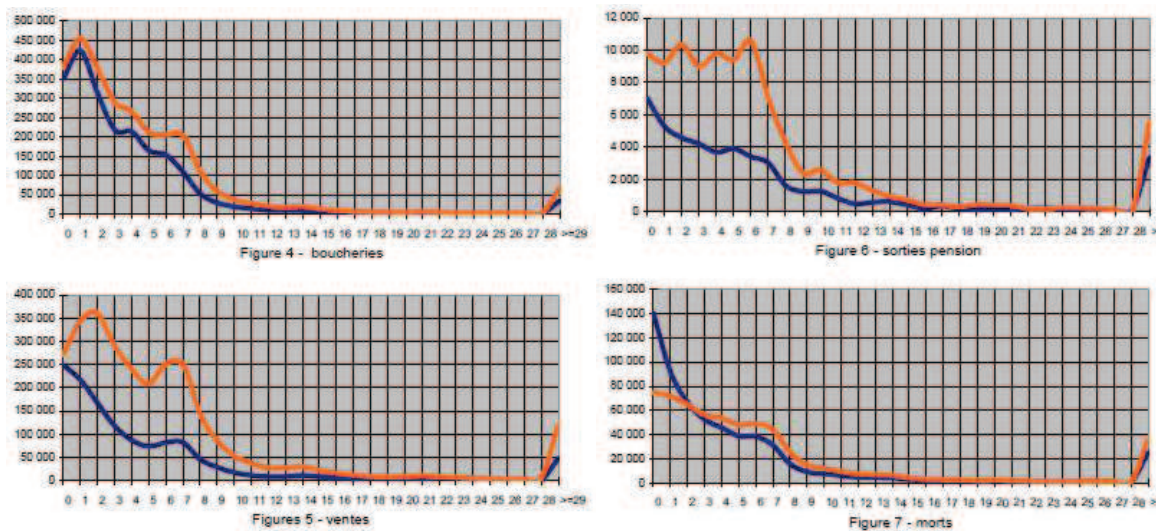


Figure 20 : Délais de notification (en jours sur l'axe des abscisses) de sortie de bovins pour causes de boucherie (en haut à gauche), pension (en haut à droite), vente (en bas à gauche) et mort (en bas à droite) bleu = laitiers ; orange = allaitants (DGAL, 2009)

2.1.5 Traitement des données

Malgré toutes les procédures mises en place pour empêcher l'enregistrement de données incohérentes, les registres nationaux ne sont pas entièrement exempts d'anomalies. Nous

avons donc procédé à une analyse préalable des données de la BDNI pour vérifier leur cohérence, et traiter ou supprimer les éventuelles anomalies.

Les champs présentant une valeur aberrante ont été corrigés lorsque la valeur réelle pouvait être déduite des autres informations renseignées dans la base. Par exemple, dans le fichier des bovins, le sexe femelle a été attribué aux animaux dont le sexe n'était pas renseigné mais pour qui une date de premier vêlage était enregistrée. De même, la race la plus fréquente dans leur exploitation de naissance a été attribuée aux animaux n'ayant pas de race renseignée. Des modifications ont aussi été apportées au fichier des détentions lorsque cela était nécessaire et possible. Par exemple, les causes définitives (boucherie, mort) attribuées à un animal pour lequel des mouvements ont été ultérieurement enregistrés (651 entrées après une sortie pour cause de mort, 301 066 entrées après une sortie pour cause « boucherie ») ont été changées en cause inconnue (codée 'O').

Lorsque les anomalies ne pouvaient être corrigées avec certitude, les bovins concernés ainsi que leurs mouvements étaient supprimés. Ce fut le cas par exemple des doublons (plusieurs animaux ayant un numéro identique), des animaux qui n'avaient pas de correspondance dans l'une ou l'autre des tables, des mouvements enregistrés à des dates antérieures à la date de naissance de l'animal, etc.

2.2 Le registre national de l'équarrissage

Le recours à l'équarrissage pour le traitement des cadavres d'animaux d'élevage et la transmission d'information sur cette activité est une obligation européenne. Mais le système d'information mis en place en France constitue un dispositif original.

2.2.1 Réglementation européenne

La réglementation européenne (Union européenne, 2009) stipule que les cadavres d'animaux d'élevage, considérés comme des sous-produits de catégorie 1 ou 2 (la catégorie est définie selon plusieurs critères dont notamment la présence de matériel à risque spécifié, ou MRS), constituent une source potentielle de risques pour la santé publique et animale. A ce titre, les éleveurs doivent veiller à ce que leur élimination se fasse dans des établissements agréés pour ce type d'opération (la plupart du temps des centres dédiés à cette activité, mais possiblement l'exploitation elle-même si elle dispose des installations adéquates). Cependant, de nombreuses dérogations permettent l'élimination des cadavres en dehors des centres d'équarrissage : la réglementation européenne autorise l'enfouissement ou l'incinération sur place des cadavres d'animaux dans les régions éloignées (dont les Etats membres doivent fournir la liste et qui doivent représenter une proportion limitée¹ de la population nationale totale), dans le cas de foyers épizootiques ou lorsque la collecte menacerait la santé et la sécurité du personnel qui en a la charge. Les cadavres d'animaux de catégorie 2 (sans MRS) qui ne sont pas morts en raison de la présence effective ou supposée d'une maladie transmissible peuvent par ailleurs être utilisés sous certaines conditions pour le nourrissage d'animaux sauvages, d'animaux de zoo ou de cirque, des chiens et chats dans les refuges, des asticots et vers, etc. La réglementation européenne prévoit par ailleurs une procédure d'autorisation permettant aux Etats membres de valider d'autres méthodes d'élimination.

¹ 10% pour la population bovine, 25% pour la population ovine et la population caprine

Le traitement des cadavres hors centre d'équarrissage est toutefois une pratique peu répandue en Europe et les dérogations, même si elles correspondent à de multiples cas de figure, ne représentent en fait qu'une faible proportion de la population des animaux morts (sauf dans certains pays avec une grande dispersion des élevages sur le territoire comme la Finlande). Les centres d'équarrissage centralisent donc une très grande partie des animaux morts en élevage.

Dans un objectif de traçabilité, la réglementation européenne exige de toute personne réceptionnant des cadavres qu'elle consigne et mette à disposition (sans précision sur le délai) des autorités compétentes : une description de la quantité de matière collectée¹, le numéro d'identification des animaux morts lorsqu'il existe, ainsi que la date de collecte et l'exploitation d'origine du cadavre.

L'organisation du service d'équarrissage est extrêmement varié selon les Etats membres : service public sous contrôle des Länder en Allemagne, service délégué à des entreprises privées par appel d'offre en France, système mutualiste avec un opérateur unique au Danemark et aux Pays-Bas, système libéral régulé par opérateur national privé au Royaume-Uni (SIFCO, 2008).

2.2.2 Organisation et financement de l'équarrissage en France

A partir de 1975 et jusqu'en 1996, les équarrisseurs étaient contraints par la loi française de ramasser et traiter gratuitement les cadavres d'animaux trouvés morts dans les exploitations agricoles de leur périmètre, en échange d'un monopole sur la collecte et la valorisation des sous-produits des abattoirs situés dans cette zone. Ce monopole permettait aux équarrisseurs d'organiser leur activité de façon rentable tout en rendant les services gratuitement.

La crise de l'ESB a amené les pouvoirs publics français à réorganiser l'équarrissage, afin de sécuriser la collecte et la destruction des déchets animaux (cadavres d'animaux et déchets d'abattoir). A partir de 1996, l'activité d'équarrissage est devenue un service public géré par l'Etat et sous-traité à des industriels, dans le cadre de marchés publics gérés par les préfectures de département (Chardin-Libaud, 2003). Le Service public de l'équarrissage (SPE) a d'abord été financé par une taxe payée sur les achats de viande par la grande distribution, puis à partir de janvier 2004 par des subventions de l'Etat et par une taxe payée par les abattoirs (taxe d'abattage).

L'évolution favorable de la situation sanitaire mais aussi les difficultés récurrentes de financement ont amené de nouvelles modifications du dispositif. A partir de 2005, seuls les Animaux Trouvés Morts en exploitation (ATM) ainsi que les cadavres dont la destruction est nécessaire dans l'intérêt général ont été maintenus dans le périmètre du SPE, tandis que l'élimination des déchets d'abattoir et d'ateliers de découpe a été laissée à la charge des entreprises concernées. Le système de réquisition préfectorale des équarrisseurs a été abandonné, au profit d'un marché public national de l'équarrissage, géré par l'Office de l'Elevage, un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle des ministères chargés de l'Agriculture et du Budget.

¹ Le règlement ne précise pas dans quel cas la quantité de matière doit être exprimée en masse, volume ou nombre d'individus

La participation financière des filières d'élevage au fonctionnement de l'équarrissage a par ailleurs été progressivement mise en place de 2006 à 2009. Depuis 2009, le service public de l'équarrissage pour les animaux trouvés morts en exploitation a été supprimé et le coût de ce service repose entièrement sur les filières. Les dispositions adoptées stipulent que les éleveurs doivent être en mesure d'attester qu'ils ont conclu un contrat individuel avec un équarrisseur, ou qu'ils cotisent à une structure collective d'achat de ce service volontairement ou en application d'un accord interprofessionnel étendu.

Aujourd'hui, les entreprises d'équarrissage sont fortement concentrées et l'ensemble du territoire est couvert par trois entreprises de dimensions nationale ou internationale. Ces entreprises gèrent sur le terrain 53 établissements intermédiaires (centres de collecte) et onze usines de transformation (Figure 21).

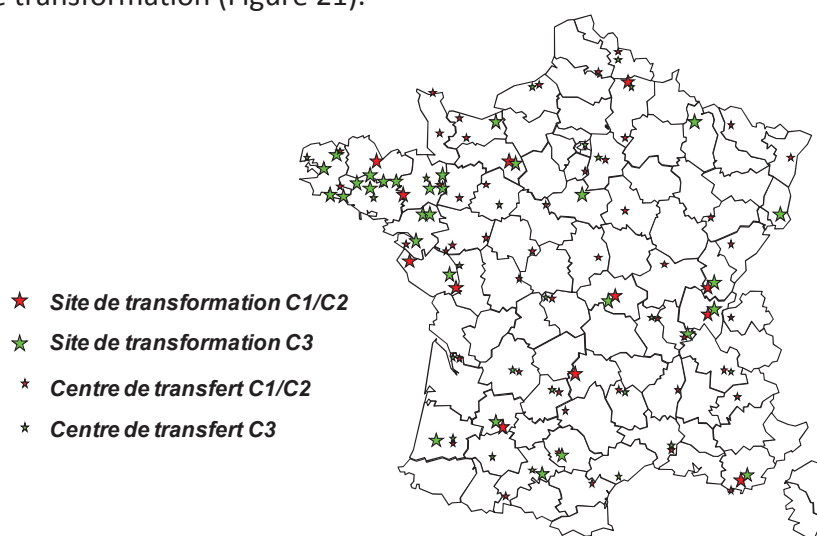


Figure 21: Répartition des sites d'équarrissage en France (en 2010). C1, C2, C3 correspondent respectivement aux déchets de catégorie 1, 2 et 3 définis par (Union européenne, 2009)

2.2.3 Le système d'échange de données informatisées sur les sous-produits animaux (EDI-SPAN)

Des contacts entre les services vétérinaires locaux et les entreprises d'équarrissage ont été initiés depuis longtemps en vue de mieux connaître les données relatives à la mortalité. Mais ces actions restaient éparpillées et non coordonnées.

Suite à la canicule de 2003, l'idée de faire converger les données relatives à l'activité quotidienne des équarrisseurs vers le système d'information de la DGAL (SIGAL) a émergé au sein des services vétérinaires du ministère. Finalement, au printemps 2005, le Syndicat national des entreprises de sous-produits animaux (SIFCO), qui fédère les industries de l'équarrissage, a été contacté pour proposer aux industriels de partager leurs données, considérant que cela leur permettrait :

- de contribuer à la protection de la santé publique et animale, et de ce fait d'améliorer significativement leur image dans le public et l'administration ;
- d'établir une déclaration d'activité totalement transparente utilisable au moment des négociations financières avec l'Etat ou avec les organisations d'éleveurs.

Cette proposition a été très bien accueillie par les industriels avec lesquels s'est engagée une série de réunions de travail qui a duré trois ans et a conduit au mois d'avril 2008 à la mise en service d'un système d'échanges de données informatisé, l'EDI-SPAN (Bonjour et al., 2010).

Si la participation des équarisseurs était initialement basée sur le volontariat, des bases réglementaires rendant cette transmission des données obligatoire ont depuis été adoptées. En France, l'article D226-4 du code rural stipule en effet désormais que toute personne exerçant une activité d'équarrissage transmet au service chargé de la tenue du registre central unique les données « utiles au suivi sanitaire de cette activité ». Un arrêté spécifique (Ministère de l'Agriculture, 2011) donne la liste des informations exigées en sus de la réglementation européenne.

2.2.4 Données contenues dans l'EDI-SPAN

Les spécifications techniques détaillées de l'EDI-SPAN font l'objet d'un document rédigé par les services vétérinaires français et communiqué aux entreprises d'équarrissage afin de servir de base à l'adaptation de leurs outils informatiques. Ce document définit les différents formats d'échanges de données concernant les animaux morts, mais aussi les différents sous produits collectés dans les établissements agro-alimentaires (abattoirs, ateliers de découpe, etc.).

Les centres d'équarrissage collectent et transmettent deux types de données : celles relatives aux demandes d'enlèvements de cadavres (appels téléphoniques ou demandes en ligne) faites par les éleveurs et celles relatives aux tournées¹ d'enlèvement réalisées par les équarisseurs.

Dans les deux cas, les données sont transmises au ministère par voie électronique au format XML. L'équarisseur est censé transmettre chaque jour la liste des enlèvements réalisés la semaine précédente (transmission des données à J+8) et la liste des demandes d'enlèvement reçues la veille (transmission à J+1).

2.2.4.1 Données relatives aux demandes d'enlèvement

Initialement, les équarisseurs n'étaient tenus de transmettre les demandes d'enlèvement qu'en cas de crise, mais ils ont rapidement été tenus de maintenir continuellement ce flux de données.

Les principales données collectées lors des demandes d'enlèvement sont détaillées dans le Tableau 3.

¹ Par définition, on appelle 'tourné', l'ensemble des enlèvements réalisés par un camion entre deux déchargements dans l'établissement intermédiaire ou de l'usine de transformation.

Tableau 3 : Liste des champs renseignés dans la table Liste_appel

CHAMPS	Commentaire
TYPE_IDENTIFIANT	Nature de l'identifiant de l'établissement appelant (ex : EDE)
VALEUR_IDENTIFIANT	Valeur de cet identifiant
LIBELLE_ETABLISSEMENT	Libellé de l'établissement appelant
ADRESSE	Adresse de l'établissement appelant
CODE_POSTAL	Code postal de l'établissement appelant
CODE_INSEE	Code Insee de l'établissement appelant de la demande
DATE_APPEL	Date de la demande
DEPARTEMENT	Département de l'établissement
CATEGORIE_ANIMAUX	Catégorie d'âge de ou des animaux enlevés
TYPE_PRODUCTION	Type de production de ou des animaux enlevés
SEXE	Sexe de ou des animaux enlevés
NOMBRE_ANIMAUX	Nombre d'animaux dans l'enlèvement

Le système EDI-SPAN s'applique à toutes les espèces susceptibles d'être prises en charge par le service de l'équarrissage. La catégorie des animaux est une variable qui décrit à la fois l'espèce et l'âge des animaux. Neuf catégories ont été définies pour les bovins (Tableau 4).

Tableau 4: Les catégories d'animaux prises en charge

Bovins	Petits ruminants	Porcins	Equins	Volailles	Divers
Veaux <21	Boucs	Porcelets maternité	Chevaux adultes	Poules pondeuses	Lapins
JB < 6 mois	Chèvres	Porcelets post-sevrage	Poulains	Palmipèdes gras	Cervidés
Bovins < 9 mois	Chevreaux < 1 mois	Porcs charcutiers	Anes	Poulet de chair	
Bovins <12 mois	Bélier	Porcs reproducteurs	Poneys	Ratites	
Bovins < 18 mois	Brebis		Croisés		
Bovins < 24 mois	Agneaux d'engraissement		Morts-nés		
Bovins > 2 ans	Agneaux < 1 mois				
Bisons					

2.2.4.2 Données relatives aux tournées de collecte

Après l'enlèvement du cadavre, les informations déclarées par l'éleveur au moment de la demande d'enlèvement sont mises à jour et des données supplémentaires, comme la date et l'heure de l'enlèvement, le numéro d'identification individuelle des animaux, la qualité d'identification (présence et lisibilité des boucles auriculaires et du passeport, etc.), le poids net de carcasse, etc. sont transmises par l'équarrisseur.

Le Tableau 5 et le Tableau 6 présentent respectivement les données relatives aux visites et aux enlèvements : une tournée correspond à plusieurs visites de fermes, au cours de chacune desquelles peuvent être réalisés plusieurs enlèvements.

Tableau 5 : Champs de la table Liste_lvi

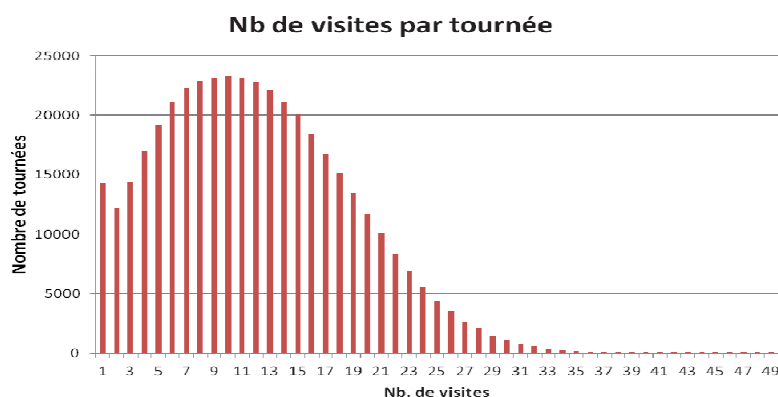
CHAMPS	Commentaire
ID_TOUR	Identifiant de la tournée
ID_LVI	Identifiant de la visite
SIGLE_EQUARRISSEUR	Identifiant de l'équarrisseur
TYPE_IDENTIFIANT	Nature de l'identifiant de l'établissement visité (ex : EDE)
VALEUR_IDENTIFIANT	Valeur de cet identifiant
DATE_VISITE	Date de réalisation de la visite

Tableau 6: Champs de la table Liste_enl

CHAMPS	Commentaire
ID_TOUR	Identifiant de la tournée
ID_LVI	Identifiant de la visite
ID_ENL	Identifiant de l'enlèvement
NATURE_SPAN	Catégorie d'âge de ou des animaux enlevés
SEXE	Sexe de ou des animaux enlevés
TYPE_PRODUCTION	Type de production de ou des animaux enlevés
NOMBRE_ANIMAUX	Nombre d'animaux dans l'enlèvement
CODE_INFORMATION_IDENTIFICATION	Information sur l'état de l'identification des animaux enlevés
CODE_CONDITION_ENLEVEMENT	Information sur les conditions de réalisation de l'enlèvement
ADRESSE	Adresse de l'enlèvement
CODE_POSTAL	Code postal de l'enlèvement
CODE_INSEE	Code Insee de l'enlèvement
GEO_X	Latitude de l'enlèvement
GEO_Y	Longitude de l'enlèvement
DATE_DEMANDE_ENLEVEMENT	Date à laquelle a été demandé l'enlèvement
PASSAGE_SANS_APPEL	1 si le passage s'est réalisé sans demande préalable, 0 sinon
NUMERO_ANIMAL	Numéro d'identification de l'animal équarri

Au 15 mars 2012, la table liste_lvi regroupait 423 694 tournées (ID_TOUR), ayant donné lieu à 5 101 564 visites de fermes (ID_LVI), soit en moyenne 12 visites de fermes par tournée (Figure 22).

Figure 22 : Nombre de tournées (axe des ordonnées) en fonction du nombre de visites réalisées (axe des abscisse)



La table Liste_enl regroupait 6 033 377 enlèvements (ID_ENL). Le nombre moyen d'enlèvements par visite de ferme était de 1,18. 730 491 visites (14,3% du total des visites) ont donné lieu à plus d'un enlèvement (Tableau 7). 78 visites ont donné lieu à 20 enlèvements ou plus (pour un maximum de 59 enlèvements).

Tableau 7 : Nombre de visites en fonction du nombre d'enlèvements par visite

Nb d'enlèvements dans la visite	Nombre de visites	Nb d'enlèvements dans la visite	Nombre de visites	Nb d'enlèvements dans la visite	Nombre de visites	Nb d'enlèvements dans la visite	Nombre de visites
1	4 370 629	6	2 881	11	134	16	20
2	594 714	7	1 284	12	108	17	13
3	98 867	8	686	13	54	18	14
4	23 890	9	376	14	51	19	17
5	7 010	10	262	15	34	>=20	83

2.2.5 Traitement des données

L'historique de données disponible sur la population bovine a été analysé pour y rechercher l'existence d'éventuels doublons.

Les fichiers des appels étaient tous associés à un numéro d'identifiant unique, ce qui n'a pas permis d'identifier des doublons. Dans l'extraction réalisée le 28/01/2009, constituée de 2 909 792 lignes correspondant chacune à une demande d'enlèvement, 290 841 appels provenaient toutefois d'une exploitation depuis laquelle au moins un autre appel avait été passé la même journée (Tableau 8). Or il est assez rare (mais possible) qu'une exploitation appelle l'équarrisseur deux fois dans la même journée.

Tableau 8 : Nombre d'appels provenant de la même exploitation répétés dans la même journée

Nb d'appels dans la journée	Nombre d'occurrences	Nb d'appels dans la journée	Nombre d'occurrences	Nb d'appels dans la journée	Nombre d'occurrences
1	2 189 289	12	118	26	3
2	227 934	13	12	28	1
3	43 035	14	27	29	1
4	13 324	15	10	30	1
5	1 805	16	7	31	1
6	3 003	17	7	32	2
7	536	18	22	33	2
8	583	20	6	36	1
9	270	21	3	43	1
10	95	24	1	47	1
				49	1

Parmi les 290 841 appels provenant d'une exploitation depuis laquelle au moins un autre appel avait été passé la même journée, 209 085 avait le même objet, c'est à dire la même catégorie d'animaux, même sexe, même type de production et même nombre d'animaux. Ces derniers représentent potentiellement des doublons, sans que cela puisse être confirmé par une analyse de cohérence interne de la base.

Il n'existait aucun doublon sur les identifiants uniques dans les tables relatives aux visites et aux enlèvements. Cependant certaines lignes avec des identifiants différents présentaient des champs similaires, suggérant qu'elles pouvaient correspondre en réalité à la même visite ou au même enlèvement. Comme l'analyse interne de ces tables ne permettait pas de distinguer les véritables doublons des répétitions réelles de visites ou d'enlèvements, elles ont été maintenues en l'état.

Nous avons en revanche identifié et supprimé certains doublons de tournées : ont été considérées doublonnées les tournées réalisées à une (ou des) date(s) identique(s) et ayant la même liste ordonnée de visites. L'analyse a permis d'identifier 1 030 tournées répétées à l'identique plus d'une fois. La suppression de ces doublons de ces 1 030 tournées a retiré 12 097 doublons de visites et 14 656 doublons d'enlèvements, c'est à dire 0,2 % du total.

D'autres corrections ont été apportées, notamment sur le champ des numéros d'identification. La saisie des numéros d'identification n'était visiblement pas réalisée à partir d'un masque de saisie contraignant. Tous les numéros ne sont pas au format réglementaire, avec le code pays en première position puis les dix chiffres d'identification, mais peuvent correspondre à des chaînes de caractères mêlant chiffres et lettres.

Sur les 2 873 456 enlèvements ayant un champ NUMERO_ANIMAL non nul, 2 749 229 avaient un format standard. Certaines corrections permettant de rétablir un format standard à l'identifiant unique ont été apportées (ex. 3 496 avait un espace entre le code « FR » et le numéro à dix chiffres). A l'issue de ces modifications, 23 668 numéros (0,8%) restaient dans un format inexploitable.

Les enlèvements qui présentaient le même NUMERO_ANIMAL ont été examinés. Les exemples tirés au sort correspondaient tous à des enlèvements appartenant à des tournées différentes (dates et/ou exploitations différentes). Il semble donc qu'il s'agisse d'erreurs sur la saisie du numéro et non d'un doublonnage d'enlèvement. Ces enlèvements n'ont donc pas été fusionnés mais maintenus en l'état. Au total, 5 607 numéros d'identification (0,2%) étaient répétés au moins une fois dans la base.

2.3 Information sur les causes de mort

Il n'existe pas actuellement en France d'organisme collectant des informations sur les causes de mort des animaux d'élevage de manière systématique.

La caractérisation et la classification des causes de mort sont des tâches complexes, comme en témoignent les dispositifs mis en place en santé humaine pour collecter des informations sur les causes de mort. L'étude et la surveillance des causes de mortalité ne font d'une manière générale pas l'objet d'un intérêt particulier en santé animale et rares sont les systèmes enregistrant de manière pérenne des informations sur la cause de la mort des animaux d'élevage. Dans les rares cas où des informations sur les causes de mort des bovins sont ou ont été collectées de manière systématique (ex. pendant la crise de l'ESB en France,

où les morts de bovins de plus de deux ans donnaient systématiquement lieu à une « visite d'information et de suivi de la mortalité »), aucun système de classification formel n'est utilisé, la cause de mort est définie et consignée de manière libre par le vétérinaire.

Nos travaux concernant l'étude des causes de mortalité chez les bovins sont présentés dans le paragraphe 5.

3 Structure et dynamique de la population bovine française

Les données réglementairement recueillies et enregistrées dans les registres nationaux permettent d'établir des statistiques très précises de la population bovine et des études démographiques fines.

L'étude de la structure et de la dynamique de la population bovine vivante représente en soi une étude pertinente et utile à de multiples usages, permettant par exemple d'accéder à un dénominateur très précis et fiable pouvant être utilisé dans le cadre de diverses études épidémiologiques. Mais la connaissance de ces phénomènes est surtout un préalable nécessaire à l'analyse et la compréhension de la mortalité.

3.1 Des flux populationnels contrôlés

Contrairement à la population humaine, la population bovine est une population d'élevage, constituée d'individus dont les mouvements, la durée de vie (sauf accident) et la reproduction sont entièrement contrôlés. Les naissances, les abattages et les mouvements commerciaux, qui constituent les principaux flux populationnels, se réalisent sous le contrôle de l'éleveur, dont les décisions sont guidées par des contraintes zootechniques et économiques liées au type de production. Ainsi c'est principalement l'orientation zootechnique (laitière ou allaitante) d'une population qui en déterminera sa structure et sa dynamique.

Les notifications de mouvement enregistrées dans la BDNI permettent de décrire ces flux populationnels et mieux comprendre la dynamique de la population bovine française.

3.1.1 Vêlages

Les vêlages sont notifiés à la BDNI par les éleveurs par une notification d'entrée dans l'exploitation associée à la cause naissance. Ces notifications correspondent aux veaux nés viables et à une partie des veaux mort-nés (en effet la politique relative aux veaux mort-nés varie selon les départements, cf. paragraphe 2.1.3). Les données disponibles permettent de décrire l'âge au premier vêlage, l'intervalle vêlage-vêlage et la saisonnalité des vêlages. La distribution des âges au premier vêlage des vaches présentes en France entre 2005 et 2008 est présentée à la Figure 23, tous types de production confondus.

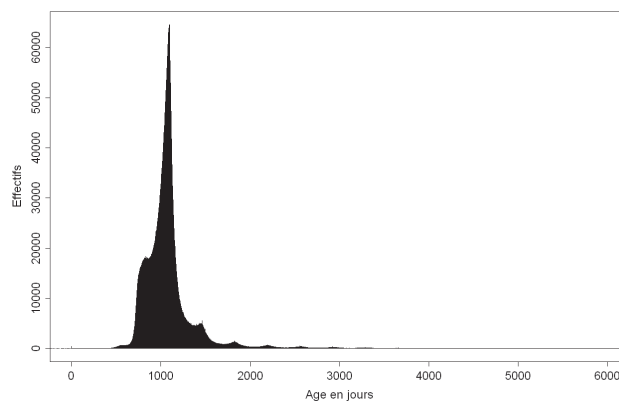


Figure 23 : Distribution des âges au premier vêlage, pour les vaches présentes en France entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008

Environ 80% des premiers vêlages dans le cheptel bovin se réalisent entre deux et trois ans et demi, avec un pic extrêmement marqué à 1 090 jours, soit trois ans. Autour de ce pic, la distribution asymétrique des âges trahit en réalité l'existence de différentes pratiques, que l'on distingue sur les histogrammes des âges au premier vêlage selon le type de production (Figure 24). En effet alors que le vêlage à trois ans est la règle chez les éleveurs de vaches allaitantes, une partie des exploitations laitières ont adopté le vêlage précoce, à deux ans (730 jours).

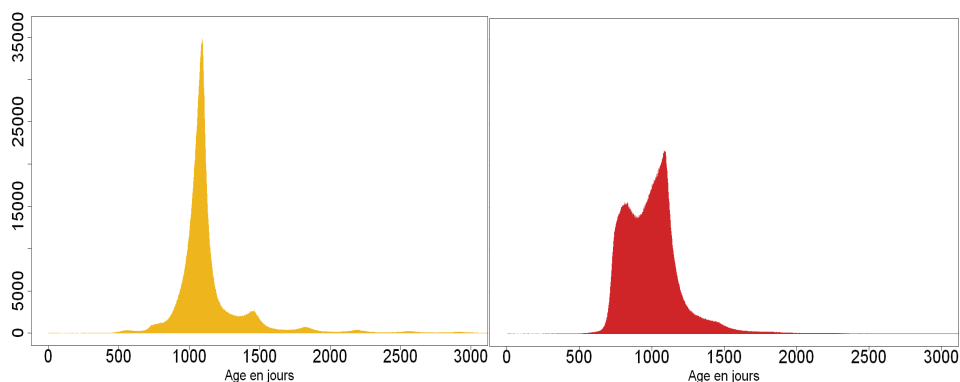


Figure 24 : Distribution des âges au premier vêlage, pour les vaches allaitantes (jaune) et laitières (rouge) présentes en France entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008

Les distributions des effectifs selon l'âge au premier vêlage montrent que ce paramètre est très fortement optimisé par les éleveurs : la plupart des génisses vêlent au même âge, selon la conduite d'élevage adoptée.

Le caractère saisonnier des vêlages est facilement identifiable sur les séries chronologiques nationales (Figure 25) et départementales (cf. Annexe), qui indiquent le nombre de naissances hebdomadaires pour la période 2005-2008, tous types de production confondus.

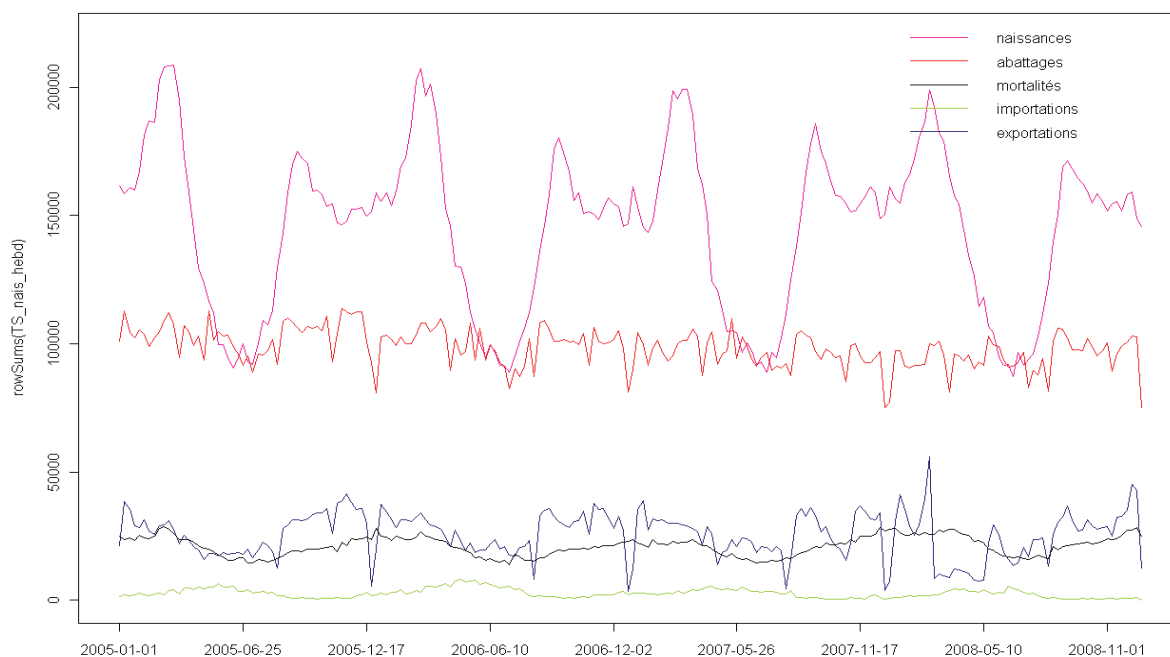


Figure 25 : Nombre hebdomadaire d’entrées ‘Naissance’, de sorties ‘Boucherie’, de sorties ‘Mortalité’, d’importations* et d’exportations* notifiées à la BDNI entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008 en France

** telles que définies au paragraphe 3.1.3.2*

Les vêlages présentent une saisonnalité décalée selon le type de production (Figure 26). Le pic de vêlage survient au début de l’hiver (septembre-octobre) chez les laitiers et est plus tardif (mars) chez les allaitants.

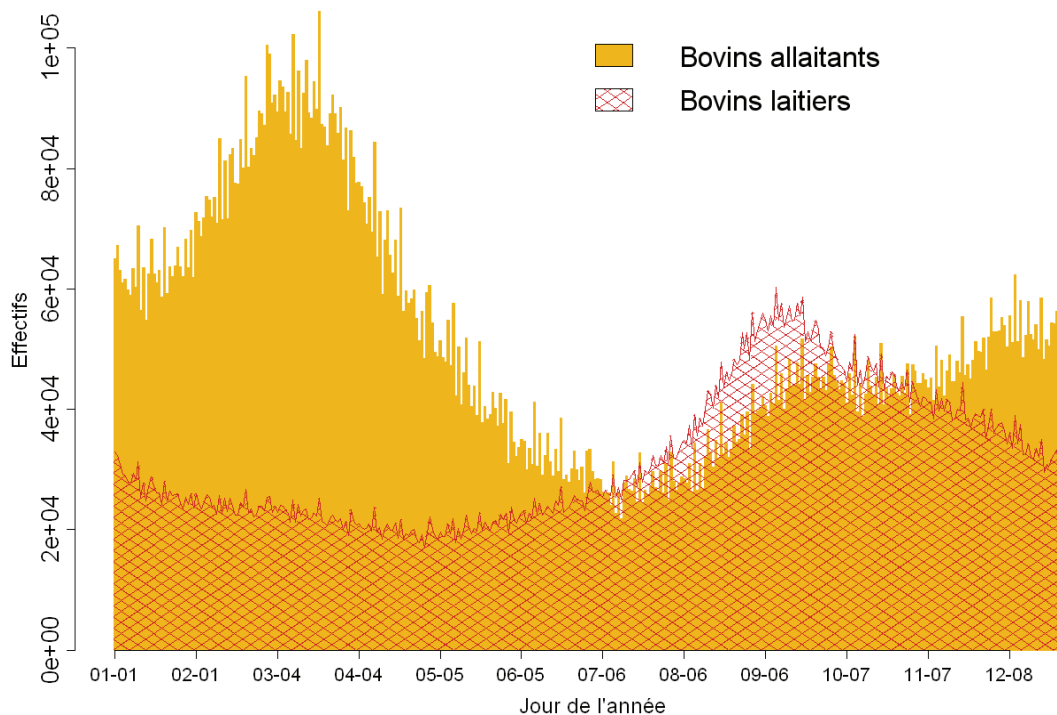


Figure 26 : Nombre de vêlages (hors veaux mort-nés) au cours de l’année selon le type de production (agrégation des données 2005-2008)

La maîtrise des technologies de la reproduction, notamment l'insémination artificielle ou la synchronisation des œstrus, a permis aux éleveurs bovins d'optimiser la reproduction de leurs animaux. En conséquence l'âge au premier vêlage, l'intervalle vêlage-vêlage et la saison de vêlage sont proches pour toutes les femelles consacrées au même type de production. Le vêlage représentant une période à haut risque de mortalité pour les vaches, toutes les femelles (selon le type de production) sont exposées à des risques accrus de mortalité à des périodes et des âges similaires.

3.1.2 Abattages

La majorité des bovins d'élevage ne meurent pas naturellement ou euthanasiés, mais sont abattus. Environ six millions de bovins sont abattus chaque année en France, contre 1,3 million de bovins mourant en élevage. Les abattages ne surviennent pas à des âges aléatoires, mais à des âges déterminés par le type de produit de boucherie attendu : veaux (5-6 mois), jeunes bovins mâles ou taurillons (18 mois ou 22-24 mois), génisses (2 à 3 ans), bœufs (30 mois) et vaches de réformes (plus de 3 ans).

Dans les données du registre national d'identification, des pics d'abattage sont visibles à 1 an (365 jours) et 2 ans (730 jours) d'âge, qui représentent des seuils au delà desquels les produits de boucherie changent de catégorie (Figure 27 et Figure 28). Chez les bovins laitiers, les veaux mâles ainsi que les vaches de réforme représentent les deux principaux produits d'abattage.

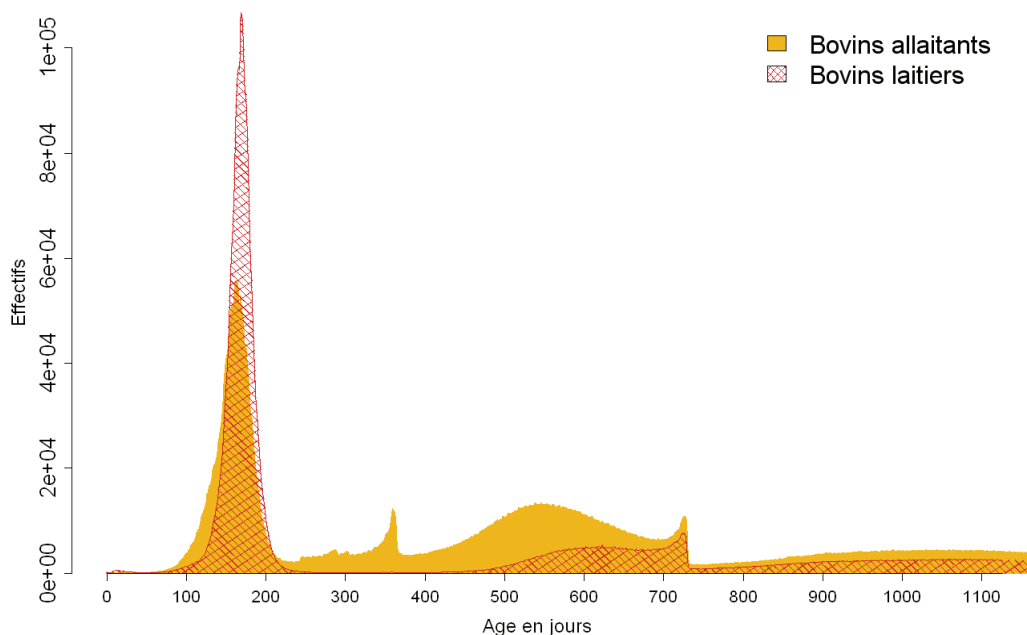


Figure 27 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'abattage des bovins abattus entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, tronquée à 1100 jours)

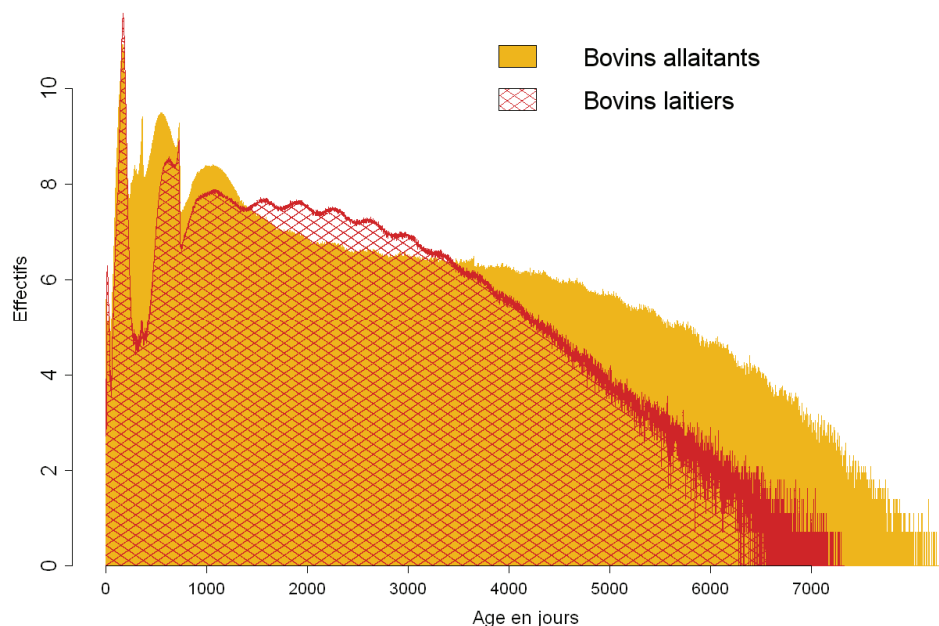


Figure 28 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'abattage des bovins abattus entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle logarithmique non tronquée)

L'abattage présente des fluctuations saisonnières moins marquées que les mortalités et les naissances (Figure 25).

3.1.3 Mouvements commerciaux

3.1.3.1 Nationaux

La proportion d'animaux changeant d'exploitation est modérée : 76% des bovins en France restent toute leur vie dans la même exploitation, 99,6% fréquentent moins de 3 exploitations au cours de leur vie (Tableau 9).

Tableau 9 : Répartition des bovins ayant vécu entre 2005 et 2008 en France selon le nombre de mouvements d'une exploitation à une autre (en gras)

1	38 421 565	6	10 002	11	159	16	1	29	1
2	11 066 535	7	4 590	12	67	17	1	47	1
3	810 755	8	1 749	13	21	18	2	65	1
4	124 664	9	1 026	14	10	19	1		
5	36 066	10	309	15	8	27	1		

Le nombre de mouvements enregistrés dans la base pour un animal semble parfois aberrant (Tableau 9) : l'un des bovins aurait effectué 65 mouvements commerciaux, un autre 47, etc. Il est toutefois difficile d'identifier formellement une limite au delà de laquelle les mouvements sont erronés. En effet, certains cas de figure particuliers pourraient expliquer ces valeurs extrêmes, comme par exemple le prêt régulier d'un taureau entre deux élevages, faisant d'incessants allers-retours au cours de sa carrière.

Lors de mouvements commerciaux, il existe parfois un décalage dans le temps entre la notification de sortie d'une exploitation et la notification d'entrée dans le suivant. Dans l'échantillon étudié (2005-2008), le temps moyen écoulé entre la sortie d'un animal et son entrée dans l'exploitation suivante est de 2,39 jours pour les premiers mouvements, 3,1 jours pour les deuxièmes mouvements. Ces écarts s'expliquent soit par des erreurs de dates lors des notifications, soit par le fait que certains animaux transitent par des centres de rassemblement ou des marchés, qui ne sont pas pris en compte dans la base. Le nombre d'animal-jours correspondant à ces écarts n'est pas comptabilisé dans les calculs de temps de présence cumulés, considérant qu'il était négligeable par rapport au temps de présence total (0,1% du total de nombre de jours de présence cumulés sur la période).

3.1.3.2 *Exportations, importations*

Il n'existe pas de variable spécifique dans la base extraite de la BDNI identifiant les mouvements d'import et d'export. Toutefois les mouvements commerciaux sont associés à un département d'origine et un département de destination, dont la valeur peut être nulle.

Nous avons identifié les mouvements d'import et d'export en considérant que :

- les imports correspondent aux entrées pour cause d'achat pour lesquelles la valeur du département d'origine est nulle ;
- les exports correspondent aux sorties pour cause de vente pour lesquelles la valeur du département de destination est nulle.

Comme les abattages, les importations et exportations se réalisent elles aussi à des âges précis, en fonction de la demande des consommateurs et du contexte économique.

Les exportations concernent principalement deux catégories d'animaux : les veaux de moins de trois mois (allaitants et laitiers) et les veaux de 6 à 18 mois (allaitants). Ces veaux sont principalement exportés à destination de l'Italie et de l'Espagne pour être engraisés (Figure 29). Les génisses de 3 ans, de race laitière font aussi, mais dans une moindre mesure, l'objet d'exportations (Figure 30).

Les importations de veaux présentent la majorité des importations (Figure 31). Ces animaux proviennent principalement d'Allemagne, d'Espagne, des Pays-Bas et de Pologne.

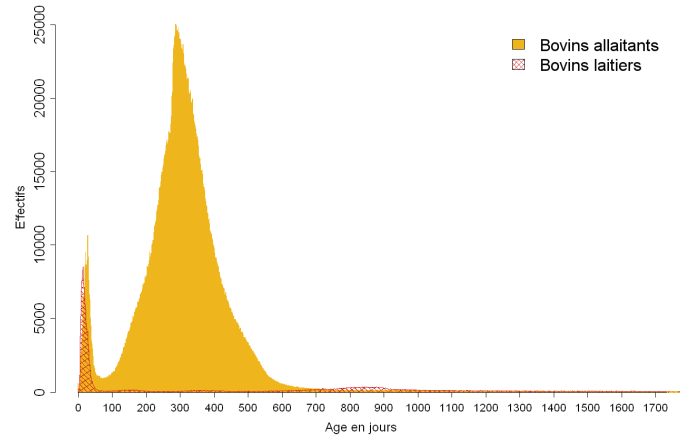


Figure 29 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, abscisse limitée à 1700 jours)

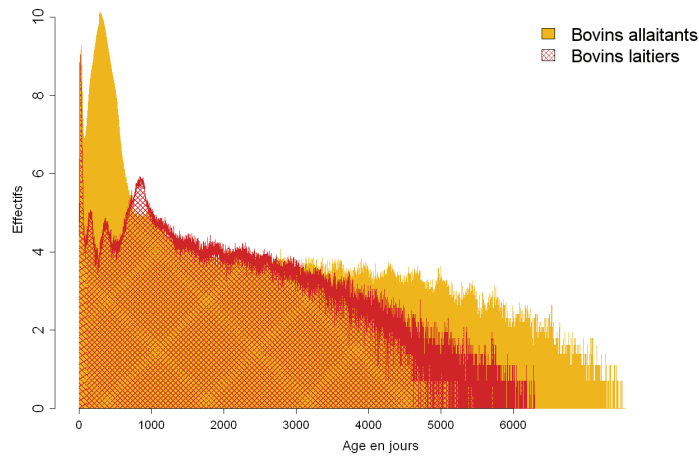


Figure 30 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle logarithmique)

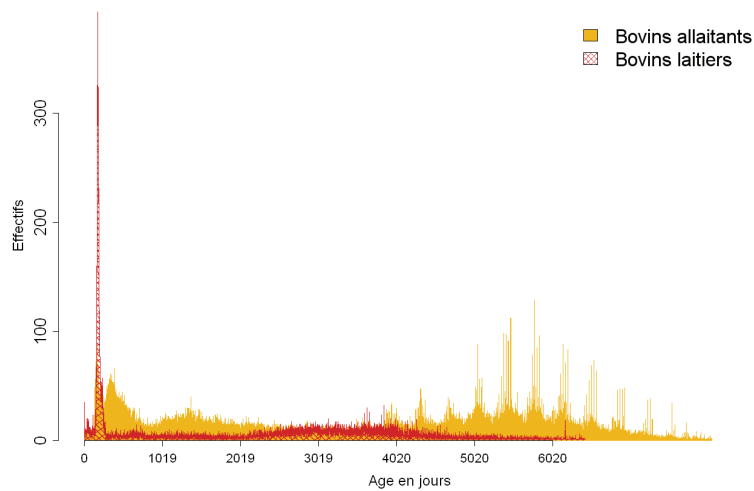


Figure 31 : Distribution des effectifs selon l'âge à l'exportation des bovins exportés entre le 01/01/05 et le 31/12/08 (échelle linéaire, abscisse limitée à 1700 jours)

Les effectifs de bovins importés en France sont très faibles. Moins de 1,9% des 30 902 553 premières entrées enregistrées dans la base de 2005 à 2008 ne sont pas des naissances (et donc soit des importations, soit des créations d'entrée pour des animaux qui n'avaient pas été identifiés dès la naissance). Les exportations représentent en revanche une part plus importante des mouvements commerciaux notifiés dans la BDNI puisque 42% des sorties d'élevages pour cause de vente n'ont pas de département de destination enregistré dans la base et sont à ce titre assimilables à des exportations. Celles-ci sont sujettes à des variations saisonnières régulières (Figure 25) mais aussi à des variations très brusques, probablement liées au contexte économique plus ou moins favorable d'une semaine à l'autre. Certaines de ces perturbations peuvent être reliées à des événements identifiés, comme par exemple la restriction des exportations vers l'Italie imposée en raison de l'épizootie de FCO qui sévissait alors dans le cheptel français.

3.1.4 Conséquences

En raison des flux populationnels créés par les éleveurs, la structure de la population bovine française varie au cours de l'année.

La population s'agrandit et rajeunit en moyenne lors des pics de vêlages, qui structurent par ailleurs la population en cohortes d'individus d'âge similaire. Les pics de vêlage surviennent de manière décalée dans la population laitière et allaitante, et selon la région considérée.

La population à risque de mourir change donc au cours de l'année, à la fois par sa taille mais aussi par sa structure démographique (âge, type de production, sexe). En conséquence, l'utilisation de recensement de population (le plus souvent réalisé au 31 décembre ou au 1^{er} janvier) pour calculer des taux de mortalité est inappropriée, au moins pour certaines catégories d'âge : ces recensements ignorent par exemple les nombreux veaux qui naissent puis sont abattus ou exportés au cours d'une même année.

Nous avons donc construit un algorithme utilisant toutes les données disponibles dans la BDNI pour estimer les temps de présence cumulés des animaux selon la fenêtre spatio-temporelle désirée.

3.2 Estimation des temps de présence cumulés

Le calcul des temps de présence cumulés, en plus de leur intérêt pour l'étude de la population bovine, donne accès à un estimateur précis de la population présente permettant de calculer sans approximation les taux de mortalité.

3.2.1 Algorithmes de calcul

Un algorithme a été conçu afin de calculer le nombre de bovins-jours par exploitation, semaine, catégorie d'âge et type de production.

Cet algorithme calcule le temps de participation de chaque animal à une catégorie d'âge au cours de chaque semaine. Chaque mouvement de bovin, qu'il s'agisse d'une entrée (naissance, achat) ou d'une sortie (vente, abattage, équarrissage) survenant au cours de la semaine est pris en compte, tout comme le changement de catégorie d'âge. Le nombre de jours de participation a été d'abord calculé pour chaque individu, puis sommé pour obtenir le nombre total de bovins-jours pour un groupe d'âge n (Figure 32).

Les dates de changement de groupe d'âge correspondent à la date de naissance plus la limite inférieure de la définition du groupe d'âge (en jours). Le premier jour de présence compte pour un jour tandis que le dernier jour compte pour zéro jour de présence. Les animaux nés et morts le même jour comptent pour un animal-jour.

	lun	mar	mer	jeu	ven	sam	dim	Nombre de jours à risque
Bovins	A					vente		5
	B			Cat. âge n-1 → n				4
	C				abattage			4
	D		mort					2
	E	achat				Cat. âge n → n+1		4
Total :								19 bovin-jours

Figure 32 : Calcul du nombre hebdomadaire d'animal-jours pour un groupe d'âge n

L'algorithme a été lancé de manière à calculer le nombre hebdomadaire de bovins-jours par catégorie d'âge et type de production présents dans chaque exploitation depuis 2011. De cette manière, le nombre de bovins-jours pouvait ensuite être obtenu par agrégation pour n'importe quelle unité spatio-temporelle plus large.

3.2.2 Répartition spatiale de la population bovine en France

L'estimation du nombre de bovins-jours par commune et année montre que la population bovine est inégalement répartie sur le territoire français. Les communes les plus urbanisées ne possèdent peu voire pas d'exploitations, tandis que d'autres communes présentent une densité d'exploitation élevée. Le nombre de bovins-jours ramené à la superficie (en hectare) a été calculé pour chaque commune et cartographié (Figure 33).

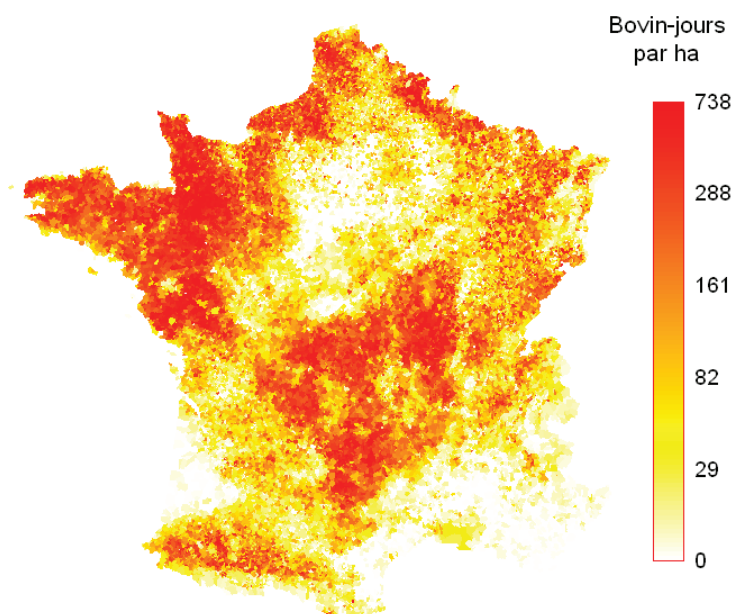


Figure 33 : Densité de population bovine (en bovins-jours par hectare) par commune en 2005

Les deux grands types de production de la filière bovine (lait et viande) sont très régionalisés. Les cartes proposées à la Figure 34 permettent d'identifier les bassins de production laitiers (on parle d'un croissant qui va du grand Ouest à la Franche-Comté en passant par le Nord de la France) et les bassins de production allaitants (principalement dans le Centre et l'Ouest).

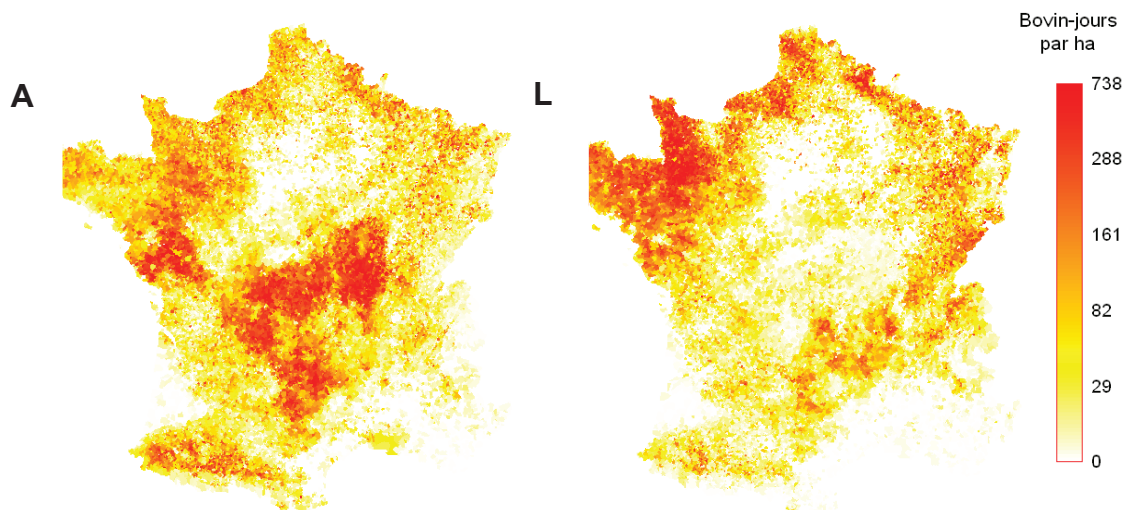


Figure 34 : Densité de population bovine par commune en 2005 dans le cheptel allaitant (A) et le cheptel laitier (L)

3.2.3 Variations saisonnières de la population bovine

La courbe hebdomadaire nationale des temps de présence cumulés, présentée à la Figure 35, illustre les variations saisonnières de la taille de la population bovine française évoquées précédemment.

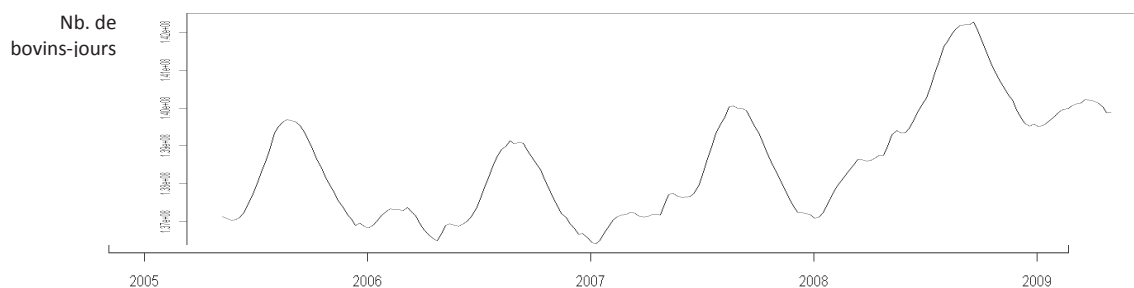


Figure 35 : Temps de présence hebdomadaire au niveau national en animal-jours

Du fait de la saisonnalité des vêlages, l'importance relative des différentes catégories d'âge varie elle aussi au cours du temps. Ces fluctuations de structure ne sont pas identiques d'une région à l'autre. Les variations saisonnières sont plus marquées dans les départements à dominante allaitante que dans les départements à dominante laitière (Figure 36) et décalées entre les populations laitières et allaitantes (Figure 37).

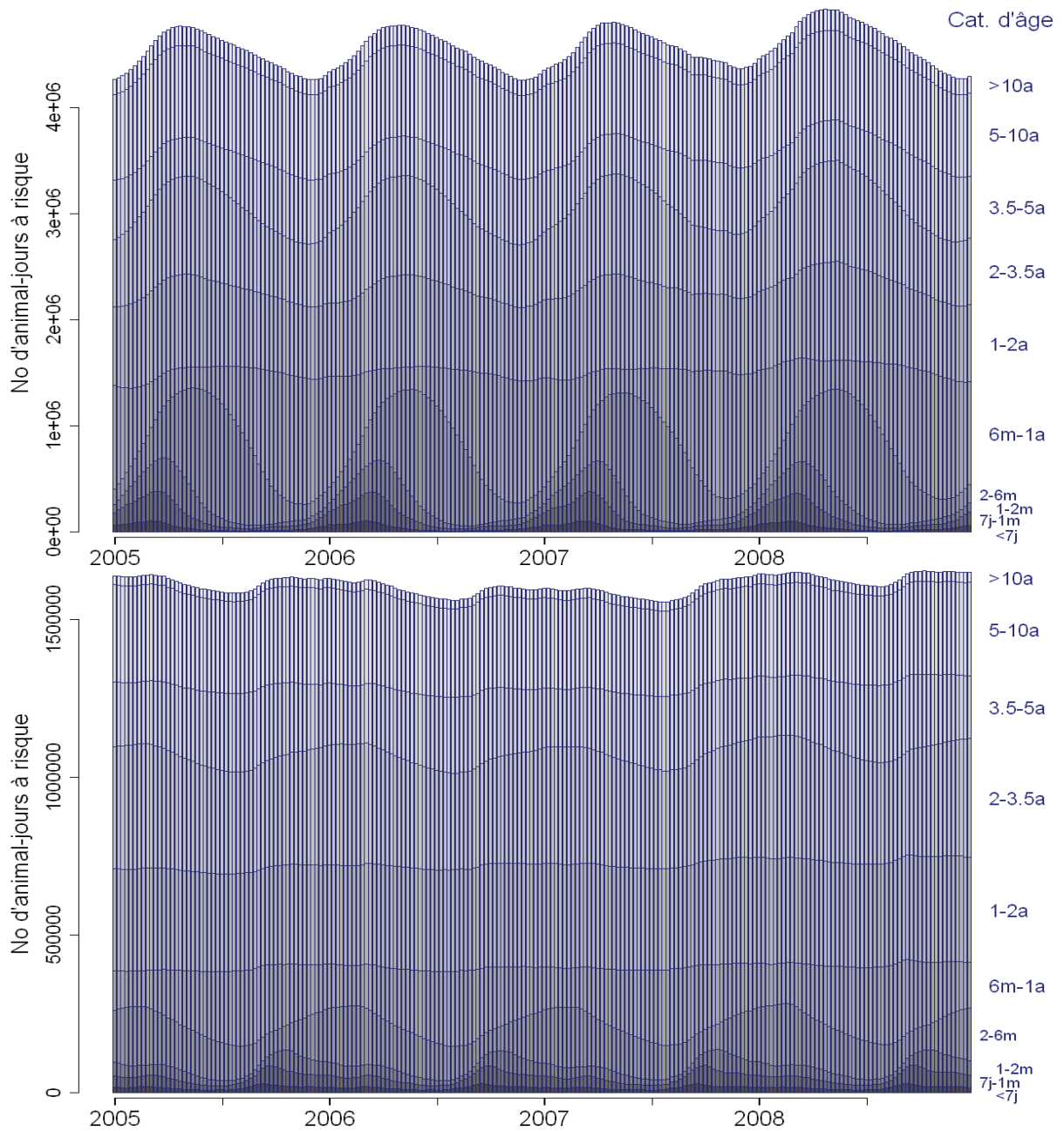


Figure 36 : Temps de présence cumulés (en bovins-jours) par semaine et catégorie d'âge pour le Département du Doubs (en bas) et de la Saône-et-Loire (en haut)

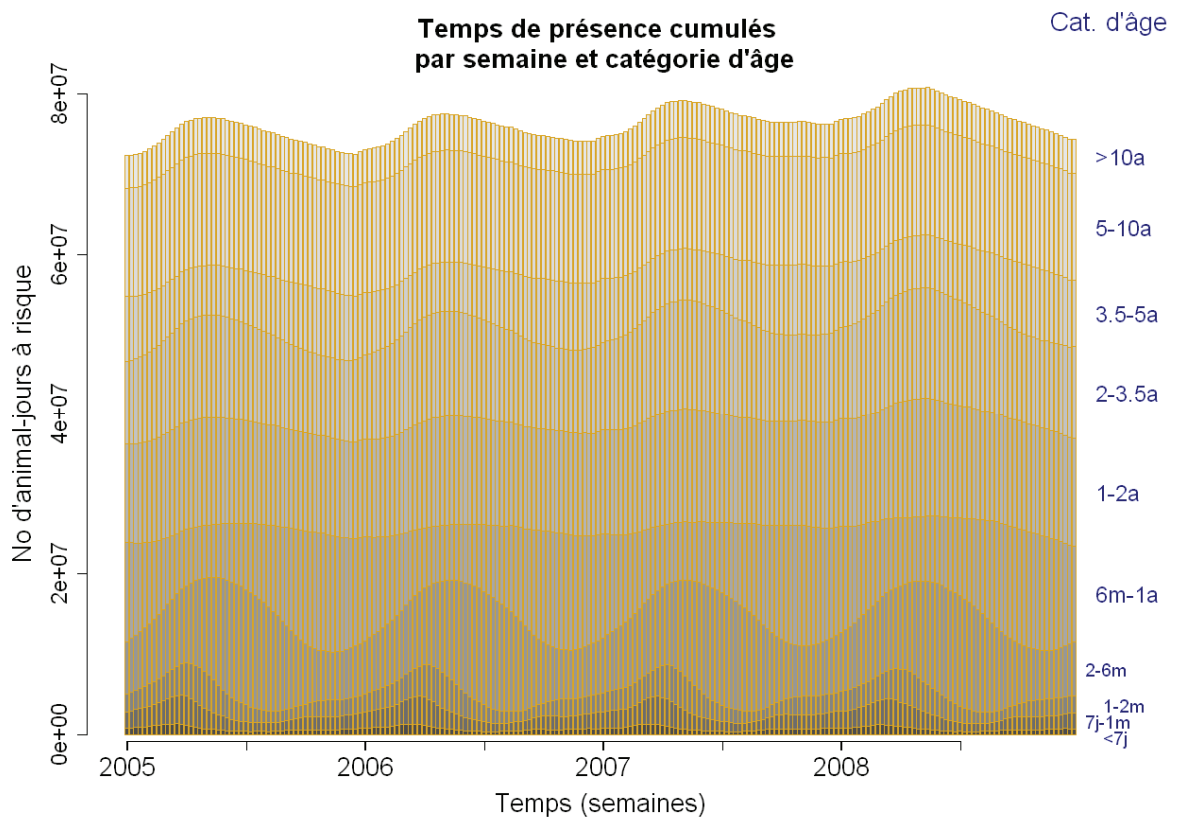
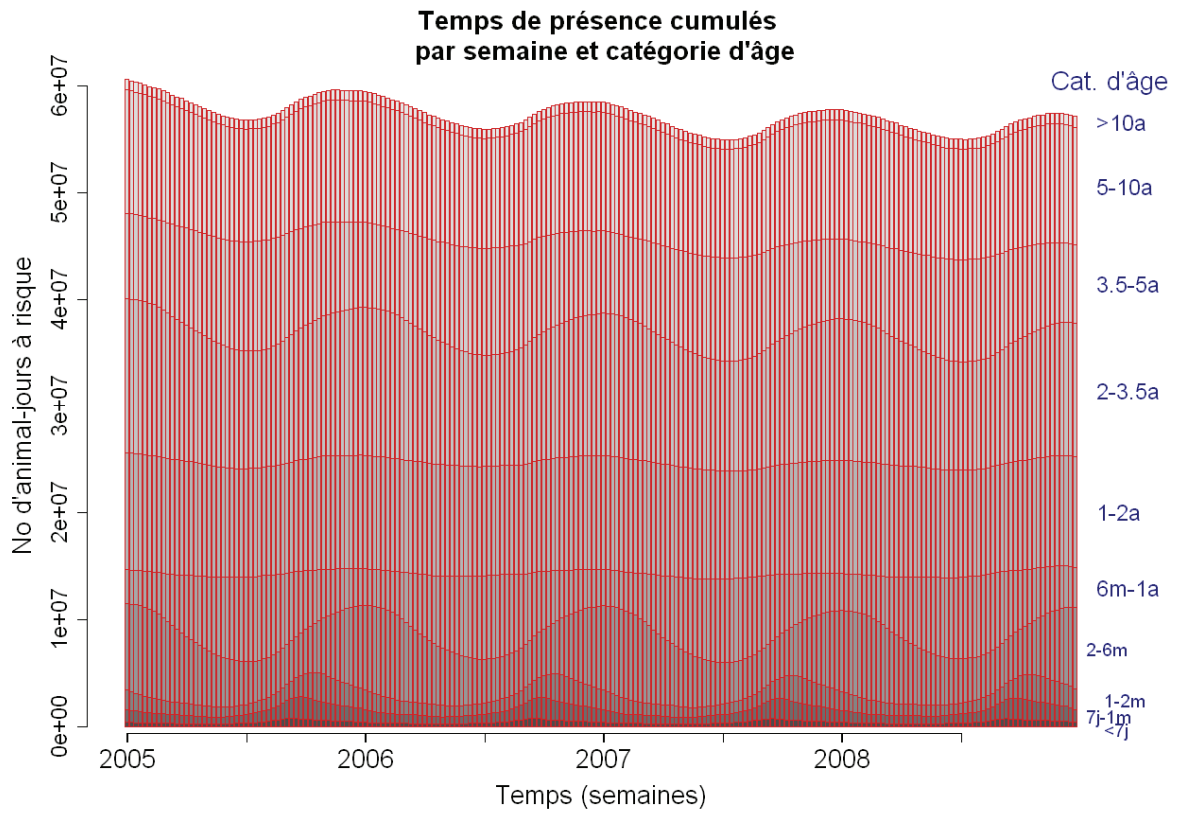


Figure 37 : Temps de présence cumulés par semaine et catégorie d'âge dans le cheptel laitier (haut) et allaitant (bas) français

4 Analyse et modélisation de la mortalité

Le calcul d'un dénominateur en bovins-jours a permis d'estimer des indices de mortalité plus fiables que ceux estimés à partir de recensements ponctuels.

4.1 Indicateurs de mortalité

4.1.1 Taux de mortalité

Aussi appelé force de mortalité ou densité d'incidence, les taux d'incidence de mortalité, ci-après simplement dénommé taux de mortalité, est défini comme le rapport de l'effectif de mortalité observé durant la période Δt à la population à risque durant cette période. Sous l'hypothèse d'une distribution de Poisson pour le nombre de morts, le taux de mortalité (λ) est estimé de la manière suivante :

$$\hat{\lambda} = \frac{m_{[t, t+\Delta t]}}{N_{[t, t+\Delta t]}}$$

avec $m[t, t+\Delta t]$ le nombre de morts survenant au cours de la période $[t, t+\Delta t]$ dans la population considérée et $N[t, t+\Delta t]$ le nombre de bovins-jours à risque (c.à.d. vivants) constituant cette population. Dans la réalité, m et N ainsi que le taux de mortalité sont des variables aléatoires ; les estimations des taux de mortalité sont accompagnées d'intervalles de confiance (Jouglà, 1997) :

$$\hat{\lambda} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{m}{N}}$$

avec $z_{\alpha/2}$ la valeur de la loi normale centrée et réduite Z telle que $P(Z > z_{\alpha/2}) = \alpha$.

Les taux de mortalité seront la plupart du temps exprimés en nombre de morts par 100 000 bovins-jours : leur valeur correspond au nombre de morts que l'on observerait chaque jour dans une population constante de 100 000 individus.

Alors que les taux bruts sont calculés sur l'ensemble de la population et sans standardisation, les taux spécifiques sont calculés pour des sous-populations, partageant une caractéristique démographique telle que le sexe, l'âge, le type de production...

4.1.2 Taux standardisés

Le calcul de taux standardisés permet la comparaison de la mortalité dans des populations de structure différente. Deux méthodes de standardisation sont envisageables : la standardisation directe qui aboutit à l'estimation des taux de mortalité comparatifs et la standardisation indirecte, permettant l'estimation d'indices comparatifs de mortalité ou SMR (standardized mortality ratio).

4.1.2.1 Taux de mortalité comparatif

Le taux comparatif de mortalité est défini comme le taux que l'on observerait dans la population étudiée si elle avait la même structure d'âge qu'une population de référence (ou population-type). Il se calcule de la manière suivante (Bouyer et al., 2004) :

$$TC_j = \sum_{i=1}^n P_i T_{ij}$$

avec TC_j le taux comparatif dans la population j , i l'indice du sous groupe, n le nombre de sous groupes, P_i la part du sous-groupe i dans la population de référence et T_{ij} le taux de mortalité observé dans la population j pour le sous-groupe i .

4.1.2.2 Indice comparatif de mortalité (SMR)

Le SMR est obtenu en faisant, pour une sous-population, le rapport entre le nombre de morts observé et le nombre de morts «attendu». On obtient le nombre de morts «attendu» en appliquant à l'effectif de chaque classe d'âge de la sous-population, les taux de mortalité types d'une population de référence (Bouyer et al., 2004) :

$$SMR_j = \frac{m_j}{\sum_{i=1}^n T_i N_{ij}}$$

avec SMR_j l'indice comparatif de mortalité dans la population j , m_j le nombre de morts observé dans cette population, i l'indice du sous-groupe, n le nombre de sous-groupes, T_i le taux de mortalité observé pour le sous groupe i dans la population de référence et N_{ij} la part du sous groupe i dans la population j .

4.1.3 Risque de mortalité

Connaissant le taux de mortalité (considéré constant) qui s'exerce sur une population, on peut calculer la probabilité qu'a un animal de mourir dans un intervalle de temps déterminé Δt . Cette probabilité correspond au risque de mortalité à t , noté $R(t)$. $R(t)$ est lié à λ par la formule (Bouyer et al., 2004) :

$$R_{(t)} = 1 - \exp(-\lambda \times \Delta t)$$

Ainsi, dans une population soumise à un taux de mortalité λ de 10 pour 100 000 bovins-jours ($\Delta t = 1$), la probabilité pour un bovin de mourir au bout de 10 jours (R_{10}) sera de 0,1%, celle de mourir au bout de 100 jours (R_{100}) sera de 1%, et celle de mourir au bout de 365 jours (R_{365}) sera de 3,6%, etc.

Par la suite, nous avons estimé des taux de mortalité par catégorie d'âge, puis les avons convertis en risques de mortalité, dont la signification est différente pour les catégories de durée inférieure et supérieure à un an. Pour les catégories d'âge de durée inférieure à un an, le risque de mortalité est la probabilité de mourir pour un animal dans cette catégorie d'âge sachant qu'il l'a atteinte ; Δt = la durée de la catégorie d'âge (7 jours pour les veaux de moins de 7 jours, 24 pour les animaux de 7 jours à 1 mois, 31 pour les animaux de 1 à 2 mois, etc.). Pour les catégories d'âge de durée supérieure ou égale à un an, il s'agit de la probabilité de mourir dans l'année pour un animal dans cette catégorie d'âge sachant qu'il l'a atteinte : $\Delta t = 365$ j.

4.2 Article 2. Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009

L'analyse de la mortalité bovine à l'échelle nationale a donné lieu à un article publié dans la revue *INRA Productions Animales*, revue scientifique à comité de lecture qui publie des articles de synthèse et de recherche concernant toutes les espèces d'intérêt zootechnique (herbivores, monogastriques et poissons). Cette revue, en langue française, a été choisie en raison de l'objet de l'analyse conduite. En effet, nous avons préféré assurer une diffusion large des données de mortalité bovine au niveau national en raison de leurs applications possibles et ce, malgré l'intérêt potentiel qu'aurait pu leur trouver un lectorat international.

L'article présente les valeurs de référence de la mortalité bovine à l'échelle nationale, par âge et type de production, ainsi que leur évolution de 2003 à 2009. La saisonnalité et les tendances observées au niveau national ont été modélisées et décrites pour chaque sous-population étudiée. Les raisons pouvant expliquer les tendances croissantes suggérées par notre analyse et observées dans de nombreux autres pays sont discutées.

En raison de la taille limitée de l'article, la distribution spatiale de la mortalité bovine en France n'a pas été étudiée. Celle-ci est décrite dans le paragraphe 4.3.

Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009

J.-B. PERRIN^{1,2}, C. DUCROT², J.-L. VINARD¹, P. HENDRIKX³, D. CALAVAS¹

¹ Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses), Laboratoire de Lyon, Unité Epidémiologie, 31, avenue Tony Garnier, F-69364 Lyon Cedex 07, France

² INRA, UR346 Unité d'épidémiologie animale, F-63122, Saint-Genès-Champanelle, France

³ Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses), Direction scientifique des laboratoires, 27-31 avenue du général Leclerc F-94701 Maisons-Alfort Cedex, France

Courriel : jean-baptiste.perrin@anses.fr

La Base de Données Nationale d'Identification bovine (BDNI) permet de connaître précisément et à tout instant la composition de la population bovine française (soit 20 millions d'individus en moyenne) et la mortalité qui y est associée. Cet article présente l'analyse des taux de mortalité dans le cheptel bovin français et leur évolution depuis 2003, en fonction du sexe, de l'âge et du type de production des animaux. Cette étude apporte des données de référence utilisables pour évaluer des situations observées en élevage.

La mortalité chez les bovins (hors abattage) est un problème économique, en raison des pertes directes (valeur de la carcasse, production, génétique) et indirectes (coût du remplacement et surcharge de travail) induites pour les éleveurs (Holleville et Michenot 2009). C'est également un problème éthique, qui pose la question du bien-être des animaux d'élevage. La mortalité constitue aussi un indicateur général de la santé du cheptel qui peut jouer un rôle important dans la surveillance épidémiologique (Perrin *et al* 2010). Pourtant, malgré son importance, rares sont les études consacrées à ce sujet, alors que de nombreuses données sont désormais disponibles.

En effet, depuis le règlement européen N° 1760/2000, chaque état membre est tenu d'administrer une base de données nationale sur l'identification des bovins. Ces bases enregistrent tous les mouvements d'animaux (dont les naissances et les morts) vers et depuis les exploitations bovines. En France, la Base de Données Nationale d'Identification bovine (BDNI) centralise l'ensemble de ces notifications, ce qui permet de connaître précisément et à tout instant la composition de la population bovine (soit 20 millions d'individus en moyenne) et la mortalité qui y est associée.

L'analyse de ces notifications permet, via des indicateurs appropriés, d'évaluer l'importance et l'évolution de la mortalité dans le cheptel bovin depuis 2003. La Direction Générale de l'Alimentation

(DGAL), l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), se sont rassemblés dans le cadre du projet OMAR (Observatoire de la Mortalité des Animaux de Rente) pour exploiter et valoriser les données collectées.

L'objectif de cet article est de présenter des valeurs de référence de la mortalité bovine en France et de son évolution entre 2003 et 2009, en considérant différents indicateurs (effectifs, taux et risques de mortalité) et différents facteurs explicatifs (âge, sexe, type de production...).

1 / Matériel et méthode

1.1 / Collecte des données

Les notifications d'identification et de mouvements des bovins sont transmises par les éleveurs aux Établissements Départementaux de l'Élevage (EDE), puis centralisées dans la BDNI après un contrôle de conformité. De 2003 à 2009, la base a enregistré près de 155 millions de notifications de mouvements (indiquant le numéro d'exploitation, la date et le type de mouvement (entrée ou sortie), la cause d'entrée (naissance ou achat) ou de sortie (vente, abattage, équarrissage) effectués par 75 millions de bovins (pour lesquels ont été notamment enregistrés le numéro national, la date de naissance, le sexe et la race). En

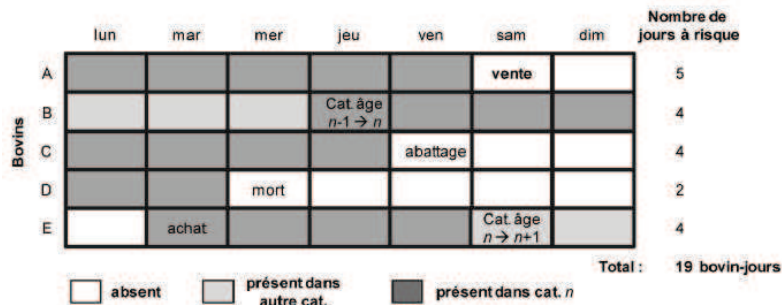
théorie cette base est exhaustive car les détenteurs des animaux sont réglementairement tenus de notifier ces informations, et font à ce titre l'objet de contrôles réguliers par les services vétérinaires départementaux.

La base de données a été nettoyée, les données aberrantes ont été corrigées lorsque l'anomalie était facilement identifiable (sortie pour cause «boucherie» suivie d'une entrée dans un autre élevage), et supprimées dans le cas contraire. Les départements d'Outre-mer, de la Corse ainsi que ceux de Paris petite couronne ont été exclus de l'analyse en raison de la quantité et de la fiabilité moindres des données dans ces zones.

1.2 / Traitement des données

Le nombre de morts de bovins a directement été déduit du nombre de notifications de sorties pour cause «mortalité» transmises par les éleveurs aux EDE. Les effectifs bruts de mortalité ayant peu d'intérêt s'ils ne sont pas rapportés à la population correspondante, un algorithme a été développé afin de calculer le dénominateur (population bovine vivante) nécessaire à l'estimation des taux et risques de mortalité. Pour une période donnée, l'algorithme calcule le nombre de jours de participation de chaque animal au groupe populationnel étudié, puis somme les résultats pour obtenir le nombre total de bovin-jours correspondant à ce groupe. Chaque mouvement individuel survenant au

Figure 1. Principe de calcul de l'algorithme population. Exemple du nombre de bovin-jours au cours d'une semaine pour un groupe d'âge n, avec la participation de 5 individus types (A à E).



cours de cette période, qu'il s'agisse d'une entrée (naissance, achat) ou d'une sortie (vente, abattage, équarrissage) est pris en compte à sa date de réalisation. Par ailleurs, si le sous-groupe populationnel est défini par l'âge, l'algorithme prend en compte les dates de changement de catégorie d'âge (déterminées à partir de la date de naissance de l'animal) pour chaque individu.

Par exemple, l'algorithme permet de calculer le nombre de bovin-jours correspondant au groupe «vaches laitières de deux à cinq ans» en France au cours d'une semaine déterminée (figure 1). Le calcul de ces temps de présence cumulés donne accès à un dénominateur précis permettant de calculer sans approximation des taux d'incidence de mortalité (définition ci-après), quels que soient l'échelle spatio-temporelle et le sous-groupe populationnel considérés.

Les animaux nés et morts le même jour sont comptabilisés dans le dénominateur comme un bovin-jour.

1.3 / Estimation des indicateurs de mortalité

Nous utilisons pour décrire la mortalité dans cet article deux indicateurs dont l'interprétation est différente : le taux et le risque de mortalité.

a) Taux de mortalité

Le taux d'incidence de mortalité, ci-après simplement dénommé taux de mortalité, est assimilable à une vitesse et s'exprime en nombre de morts par individu-jours. Par exemple dans cet article, les taux de mortalité sont exprimés en nombre de morts par 100 000 bovin-jours : leur valeur correspond au nombre de morts que l'on observerait chaque jour dans une population constante de 100 000 individus. Le taux de mortalité (λ) se calcule de la manière suivante (Jouglu 1997) :

$$\lambda_{(t)} = \frac{m_{[t,t+\Delta t]}}{BJ_{[t,t+\Delta t]}}$$

Avec respectivement $m_{[t,t+\Delta t]}$ le nombre de morts survenant au cours de la période $[t,t+\Delta t]$ dans la population considérée, et $BJ_{[t,t+\Delta t]}$ le nombre de bovin-jours à risque (c'est à dire vivants) constituant cette population.

Même si les caractéristiques d'une population sont fixées, le taux de mortalité doit être considéré comme aléatoire ; aussi les estimations des taux de mortalité sont accompagnées d'intervalles de confiance (Jouglu 1997) :

$$T = \lambda \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\lambda}{BJ}}$$

avec T le taux de mortalité théorique, λ le taux de mortalité observé, BJ le nombre de bovin-jours correspondant, et $Z_{\alpha/2}$ la valeur de la loi normale centrée - réduite Z telle que $P(Z > Z_{\alpha/2}) = \alpha$.

Des taux de mortalité spécifiques ont été calculés pour différents sous-groupes populationnels, définis selon l'âge, le sexe et le type de production (laitier ou allaitant) des animaux. Un type de production a été attribué à chaque animal selon sa race (la liste du type de production en fonction de la race a été constituée à dire d'experts). Les dix catégories d'âge ont quant à elles été définies sur des critères zootechniques afin d'être représentatives de certaines étapes de la carrière d'un bovin.

b) Risque de mortalité

Connaissant le taux de mortalité (considéré comme constant) qui s'exerce sur une population, on peut calculer la probabilité qu'a un animal de mourir dans un intervalle de temps déterminé (t). Cette probabilité, correspondant

au risque de mortalité $R_{(t)}$, dépend de l'intervalle de temps choisi :

$$R_{(t)} = 1 - \exp(-\lambda \times t)$$

Ainsi, dans une population soumise à un taux de mortalité λ de 10 pour 100 000 bovin-jours, la probabilité pour un bovin de mourir au bout de 10 jours (R_{10}) sera de 0,1%, celle de mourir au bout de 100 jours (R_{100}) sera de 1%, et celle de mourir au bout de 365 jours (R_{365}) sera de 3,6%.

Nous avons estimé des taux de mortalité par catégorie d'âge, puis les avons convertis en risques de mortalité, dont la signification est différente pour les catégories supérieures et inférieures à un an.

Pour les catégories d'âge inférieures à un an, le risque estimé correspond à la probabilité qu'a un animal de mourir dans cette catégorie d'âge sachant qu'il l'a atteinte : t correspond à la durée de la catégorie d'âge (sept jours pour les veaux de moins de sept jours, 24 pour les animaux de sept jours à un mois, 31 pour les animaux de un à deux mois, etc.).

Pour les catégories d'âge supérieures à un an, le risque calculé correspond à la probabilité qu'a un animal de mourir dans cette catégorie d'âge dans l'année sachant qu'il l'a atteinte : t correspond à 365 jours.

Ainsi, la forme de cet indicateur (pourcentage) est plus familière que celle du taux de mortalité, mais son interprétation est en revanche plus délicate.

1.4 / Modélisation des séries hebdomadaires

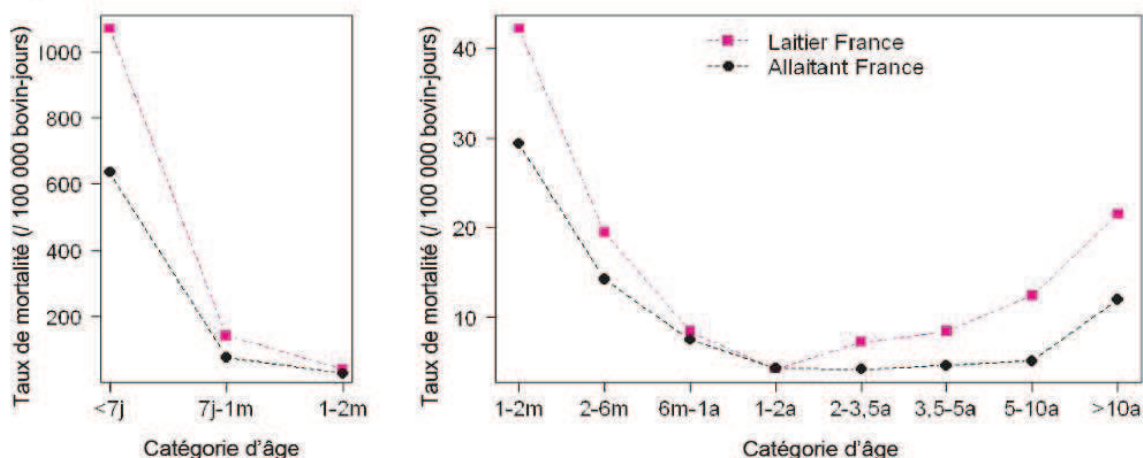
La saisonnalité et la tendance des taux de mortalité ont été décrites à l'aide de modèles de Poisson avec sur dispersion, qui ont été ajustés sur les séries hebdomadaires de mortalité. Pour chaque population, l'évolution temporelle des taux a été modélisée par une tendance linéaire et un facteur saisonnier mensuel :

$$m \sim \text{Poisson}(\mu) \quad V(m) = \phi\mu$$

$$\log(\mu_i) = \log(BJ_i) + \beta_0 + \beta_1 \times t + \sum_{j=1}^{12} [\beta_j X_{ij}]$$

avec m le nombre de morts, μ et $V(m)$ respectivement l'espérance et la variance de m, ϕ le paramètre de surdispersion, s le temps (de 1 à 366, soit le nombre de semaines de 2003 à 2009), i le mois de la semaine t, X_i une variable indicatrice valant 1 si la semaine considérée appartient au mois i et 0 sinon, et β_0 l'ordonnée à l'origine, β_1 la tendance et β_j les 11 paramètres saisonniers (le mois de janvier étant le mois de référence).

Figure 2. Taux de mortalité par catégorie d'âge et type de production (laitier en rouge et allaitant en noir) des bovins en France pour la période 2003-2009.



2 / Résultats et discussion

De 2003 à 2009, 8 807 067 morts de bovins ont été notifiées par les éleveurs en France métropolitaine, hors région parisienne.

Les valeurs des taux de mortalité estimés sont représentées par catégorie d'âge et type de production sur la figure 2. Dans les deux types de production, l'évolution des taux de mortalité en fonction de l'âge est globalement similaire : les taux de mortalité sont au plus haut chez les veaux de moins de sept jours (catégorie qui prend en compte les veaux mort-nés) et décroissent fortement jusqu'à atteindre un minimum entre un et deux ans, puis croissent à nouveau.

Le nombre de bovin-jours et de morts de 2003 à 2009, ainsi que les taux et risques de mortalité correspondants sont indiqués par catégories d'âge dans le tableau 1 pour les bovins allaitants, et dans le tableau 2 pour les bovins laitiers. Les taux de mortalité observés chez les bovins laitiers sont significativement plus élevés que chez les allaitants pour toutes les catégories d'âge sauf celle de un à deux ans, où le taux est supérieur chez les bovins allaitants.

2.1 / Mortalité des veaux

Près de 70% des notifications enregistrées de 2003 à 2009 correspondaient à des morts d'animaux de moins de six mois. La distribution du nombre de veaux morts en fonction du sexe, du type de production et de l'âge à la mort est représentée sur la figure 3.

a) Mortalité périnatale

Sur les 55 727 233 naissances notifiées entre 2003 et 2009, la proportion de veaux morts avant 48 h, considérés à ce titre comme veaux mort-nés (VMN), était de 5,2%. Cette proportion, que nous avons assimilé au risque de mortalité périnatale, était plus importante chez les bovins laitiers (7%) que chez les bovins allaitants (4%), et plus importante chez les mâles que chez les femelles, tant chez les bovins laitiers (7,9% et 6,0% respectivement pour les mâles et les femelles) que chez les bovins allaitants (4,7% et 3,2%).

Dans la littérature, la mortalité périnatale est définie comme la mortalité de veaux à terme et jusqu'à 24 ou 48 heures, selon les auteurs. Les valeurs que nous avons obtenues sont comprises

Tableau 1. Cheptel allaitant - Population bovine de 2003 à 2009, nombre de morts, taux et risque de mortalité par catégorie d'âge.

Catégorie d'âge	Nb. de bovin-jours (03-09)	Nb de morts (03-09)	Nb d'animaux vivants moyen*	Nb de morts moyen*	Taux **	Risque***
<7j	261 776 856	1 666 017	102 177	650	636	4,36
7j-1m	712 100 796	555 793	277 947	217	78	1,63
1-2m	918 385 754	269 999	358 464	105	29,4	0,88
2-6m	3 499 993 204	496 883	1 366 118	194	14,2	1,69
6m-1a	3 946 360 305	294 723	1 540 344	115	7,5	1,35
1-2a	4 914 987 596	212 356	1 918 418	83	4,3	1,56
2-3,5a	4 533 457 598	188 293	1 769 499	73	4,2	1,5
3,5-5a	2 811 004 356	129 842	1 097 191	51	4,6	1,67
5-10a	5 289 471 650	268 947	2 064 587	105	5,1	1,84
>10a	1 744 946 994	209 085	681 088	82	12	4,28
TOTAL	28 632 485 109	4 291 938	11 175 833	1675	15	-

* par jour ** par 100 000 bovin-jours *** Risque moyen annuel en %.

Tableau 2. Cheptel laitier - Population bovine de 2003 à 2009, nombre de morts, taux et risque de mortalité par catégorie d'âge.

Catégorie d'âge	Nb. de bovin-jours (03-09)	Nb de morts (03-09)	Nb d'animaux vivants moyen*	Nb de morts moyen*	Taux**	Risque***
<7j	164 493 548	1 758 164	64 205	686	1069	7,21
7j-1m	417 600 943	597 929	162 998	233	143,2	2,96
1-2m	549 111 601	231 931	214 329	91	42,2	1,26
2-6m	2 074 813 457	404 644	809 841	158	19,5	2,31
6m-1a	2 085 487 067	175 269	814 007	68	8,4	1,52
1-2a	3 893 649 859	164 157	1 519 770	64	4,2	1,53
2-3,5a	4 590 973 757	331 436	1 791 949	129	7,2	2,6
3,5-5a	3 294 876 453	276 300	1 286 056	108	8,4	3,01
5-10a	4 220 223 182	522 789	1 647 238	204	12,4	4,42
>10a	358 555 284	77 002	139 951	30	21,5	7,54
TOTAL	21 649 785 151	4 539 621	8 450 344	1 771	21	-

* par jour ** par 100 000 bovin-jours *** Risque moyen annuel en %.

dans l'intervalle des valeurs de mortalité périnatale proposées.

Une revue des études menées sur la mortalité périnatale des veaux laitiers rapporte par exemple des taux variant de 2% à 10% selon les pays (Mee *et al* 2008). Dans des cheptels allaitants d'Amérique du Nord, une proportion de veaux mort-nés de 2,6% (Waldner *et al* 2010), voire 2,9% (USDA 2010) et un risque de mortalité de 4,4% dans les 24 heures (Ganaba *et al* 1995) ont été rapportés. Des risques de mortalité dans les 72 heures de 4,9% (5,6 et 4,0% pour les mâles et les femelles respective-

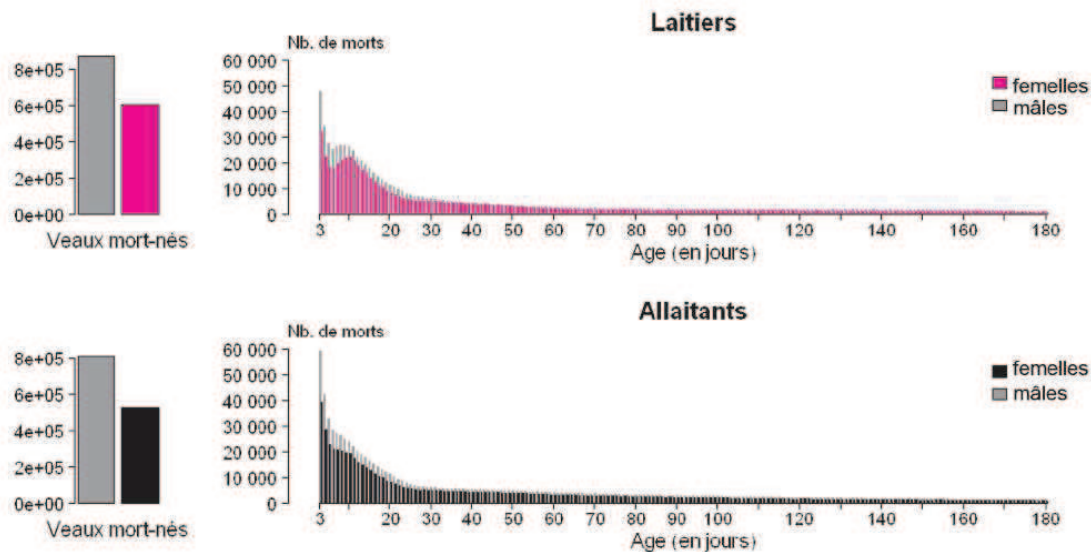
ment) et de 9,7% ont été observés respectivement en Espagne (Goyache *et al* 2003) et en France dans la région Bretagne (Offredo 2010).

La mortalité périnatale est associée à de multiples facteurs de risque tels que les caractéristiques du père, le poids, le sexe et la présentation du veau à la naissance, la gémeauté, la durée de la gestation, la saison, l'âge, l'existence de maladies ou encore la race, le degré de parité et la taille du pelvis de la mère (Bellows *et al* 1987, Bleul 2011, Mee *et al* 2008). Nous avons identifié une différence importante entre les cheptels laitiers et allaitants qui

s'explique aisément puisque le type de production (que nous avons déterminé à partir de la race) est associé à un certain nombre de ces facteurs : poids à la naissance, durée de gestation, taille du pelvis de la mère, saison de vêlage, âge au premier vêlage, etc. La mortalité périnatale est traditionnellement associée aux vêlages difficiles ou dystociques, mais certaines études suggèrent qu'une part croissante de ces morts surviennent après un vêlage ayant nécessité peu ou pas d'assistance (Mee *et al* 2008).

L'écart que nous avons observé entre les sexes a déjà été rapporté par d'autres

Figure 3. Diagrammes du nombre de bovins morts en France de 2003 à 2009, par type de production (laitiers en haut, allaitants en bas), sexe et âge (en jours). Gauche : Veaux Mort-Nés (VMN), Droite : veaux de moins de 6 mois.



auteurs (Bleul 2011, Johanson et Berger 2003, Lombard *et al* 2007, Martinez *et al* 1983, Nix *et al* 1998), mais ce constat n'est pas systématique (Rao et Nagarcenkar 1980). Il est généralement attribué à un poids à la naissance supérieur chez les mâles (Bleul 2011) qui augmente le taux de dystocies. Un effet persistant du sexe sur la mortalité périnatale a cependant été mis en évidence après prise en compte du risque de dystocie (Mee *et al* 2008). Ainsi cette différence pourrait aussi être due à une moins bonne viabilité des mâles, comme cela est le cas dans l'espèce humaine (Drevenstedt *et al* 2008). Nous avons d'ailleurs observé, comme chez l'Homme, un sex-ratio à la naissance en faveur des mâles de 1,07 (une valeur identique à celle récemment estimée dans le cheptel bovin suisse (Bleul 2011)).

b) Mortalité postnatale

Après trois jours, le nombre de notifications enregistrées dans la BDNI ne décroît pas de façon exponentielle en fonction de l'âge à la mort : on observe à dix jours un pic chez les laitiers et une inflexion chez les allaitants (figure 3). Cette courbe atypique pourrait être un artefact dû au système de notification de la mortalité des veaux en France. En effet, l'identification des veaux morts en-dessous de sept jours (âge où celle-ci est strictement obligatoire) n'est pas exigée dans tous les départements. Une partie des veaux morts entre trois et sept jours a donc pu être en fait déclarée comme des veaux mort-nés, ce qui expliquerait le déficit apparent de morts au cours de cette période. Si tel était le cas, les risques de mortalité avant 48 heures, décrits dans le paragraphe précédent pourraient avoir été surestimés.

Ce biais n'affecte pas en revanche le risque de mortalité à sept jours présentés dans les tableaux 1 et 2, puisque celui-ci prend à la fois en compte les veaux mort-nés et les veaux déclarés morts lors de la première semaine. Celui-ci est plus élevé chez les veaux laitiers (7,2%) que chez les veaux allaitants (4,4%). En revanche, si l'on omet les VMN, le risque de mortalité de deux à sept jours est plus élevé chez les bovins allaitants (0,38%) que chez les bovins laitiers (0,23%). Une étude menée en Suisse a observé un phénomène similaire et attribue cette différence à la meilleure protection immunitaire, dont bénéficieraient les veaux laitiers car leur prise de colostrum est mieux contrôlée par les éleveurs (Bleul 2011). Pour le cheptel français ces résultats doivent toutefois être considérés avec précaution, considérant le biais probable dans la notification des veaux mort-nés évoqué ci-dessus.

Pour les animaux ayant atteint sept jours, le risque de mourir avant un, deux et six mois était respectivement de 1,6%, 2,5% et 4,1% chez les allaitants, et de 3,0%, 4,2%, 6,4% chez les laitiers. Ces valeurs semblent globalement compatibles avec les risques de mortalité postnatale proposées dans la littérature, mais la comparaison est difficile car les études portent sur des catégories d'âges très variables.

Par exemple dans le cheptel laitier, plusieurs valeurs ont été proposées pour le risque de mortalité de un jour à trois mois : 3,1% (Svensson *et al* 2006) et 9% (Torstein *et al* 2011) en Suède, 4,2% et 13,8% au Danemark (Torstein *et al* 2011), 5,6% (Virtala *et al* 1996) et 9,4% (Losinger et Heinrichs 1997) aux Etats-Unis. Des risques de un jour à six mois variant du simple au double selon la race ont par ailleurs été estimés au Danemark : 6,6% chez des veaux de race Holstein (Hansen *et al* 2003) et 12,6% chez des veaux de race Jersey (Norberg 2008). D'autres auteurs rapportent que 7,8% des veaux (dont 4,1% de veaux mort-nés) mouraient au cours de la première année de vie en Norvège (Gulliksen *et al* 2009), ou que les veaux d'une race mixte avaient un risque de mourir de 1,9% de 48 h à un mois, de 1,4% de un à six mois et de 5,6% de la naissance au premier vêlage en Autriche (Fuerst-Waltl et Fuerst 2010).

Dans le cheptel allaitant, les valeurs proposées pour le risque de mortalité sont tout aussi variables : 7,7% pour des animaux de un jour à un mois (Ganaba *et al* 1995), 4,5% (Wittum *et al* 1993) et 6,4% (USDA 2010) de la naissance au sevrage, 3,7% de 72 h au sevrage (Goyache *et al* 2003), 2,1% de quatre jours au sevrage (Patterson *et al* 1987), 6,4% la première semaine puis 2,8% de une semaine au sevrage (Azzam *et al* 1993), 4,8% de morts (par diarrhée uniquement) dans les dix jours suivant la naissance (Schumann *et al* 1990).

Après la naissance et jusqu'à six mois, les taux de mortalité que nous avons estimés étaient beaucoup plus élevés pour les veaux laitiers que pour les veaux allaitants. En dehors des dystocies, qui sont associées à une surmortalité jusqu'à l'âge de un (Lombard *et al* 2007) voire de quatre mois (Bleul 2011), les maladies respiratoires et les diarrhées sont fréquemment rapportées comme principales causes de mortalité postnatale (Gulliksen *et al* 2009, Lombard *et al* 2007, Svensson *et al* 2006). La mortalité plus importante chez les veaux laitiers pourrait être liée à la manière dont ils sont élevés, avec un sevrage et un allotement plus précoces augmentant le risque de maladies.

On constate globalement que les animaux ayant une valeur économique moindre (veaux laitiers mâles par rapport aux femelles, veaux laitiers par rapport aux veaux allaitants) présentent des taux de mortalité péri et post-nataux supérieurs, suggérant qu'ils font peut-être l'objet de moins de soins vétérinaires lorsque leur état de santé se dégrade.

2.2 / Mortalité des jeunes bovins

Chez les bovins allaitants, le risque de mortalité était de 1,3% entre 6 mois et 1 an, et de 2,9% entre 6 mois et 2 ans. Ces risques étaient respectivement de 1,5% et 3% chez les laitiers. De même, les valeurs du risque de mortalité des jeunes bovins dans la littérature sont faibles : 1% de six mois au premier vêlage (Fuerst-Waltl et Fuerst 2010), 2,2% entre sept mois et le premier vêlage (Svensson *et al* 2006).

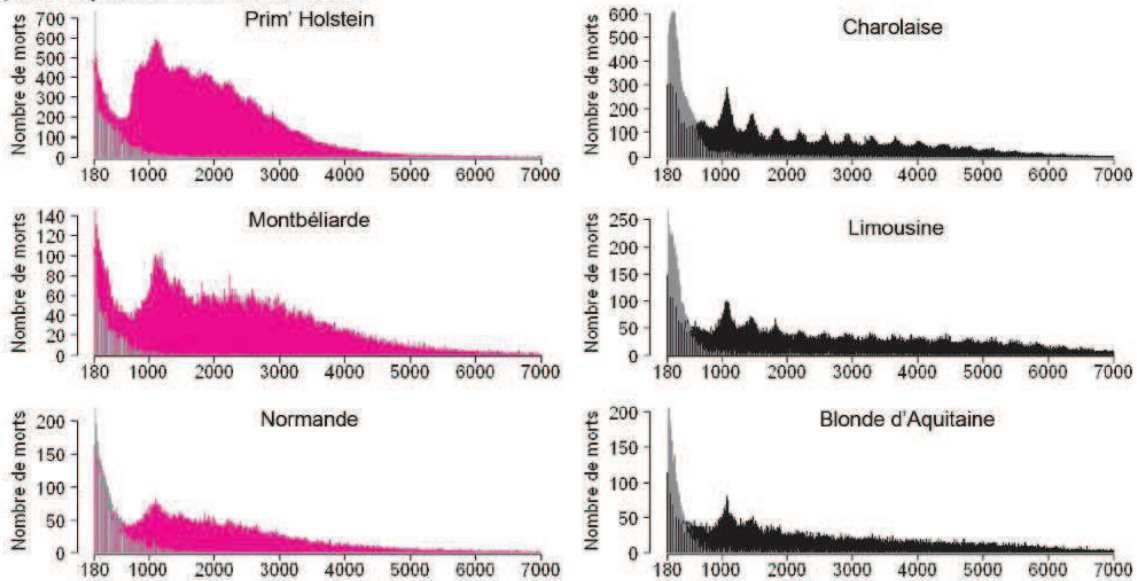
Les bovins de six mois à deux ans représentaient la catégorie d'âge pour laquelle le taux de mortalité est le plus bas et pour laquelle la différence entre les types de production est la plus réduite, probablement parce qu'à ces âges, les conditions d'élevage des animaux diffèrent peu selon le type de production, et les exposent à des risques de mortalité limités.

2.3 / Mortalité des adultes

Au delà de six mois, la proportion de mâles parmi les bovins morts chute rapidement en raison de leur élimination de la population vivante, par abattage ou exportation et leur proportion est négligeable au-delà de deux ans. En revanche, l'évolution du nombre de femelles mortes est très variable selon le type de production et la race (figure 4).

Un pic de mortalité est visible à trois ans dans les deux types de production, mais chez les races laitières l'augmentation est plus précoce (dès deux ans chez les Holstein). Des pics secondaires sont observables à intervalles réguliers (d'environ un an) après le pic principal chez les races allaitantes et de manière plus limitée chez les races laitières. Ces distributions confirment l'importance de la surmortalité associée à la période *peripartum* : les pics observés surviennent aux âges de vêlage standards des vaches en production. L'augmentation du nombre de morts débute plus tôt chez les laitières certainement en raison de la pratique du vêlage précoce, plus répandue dans ce type de production. Le crénelage est ensuite beaucoup plus marqué dans les distributions relatives aux races allaitantes, ce qui pourrait indiquer que l'âge au premier vêlage puis l'intervalle vêlage-vêlage (environ un an) est plus régulier chez ces dernières

Figure 4. Diagrammes du nombre de bovins morts au delà de six mois en France de 2003 à 2009, en fonction du sexe et de la race (laitiers à gauche : femelles en rouge et mâles en gris ; allaitantes à droite : femelles en noir et mâles en gris) et de l'âge exprimé en jours sur l'axe des abscisses.



que chez les laitières. On note que plus les vaches laitières ont un profil boucher (Prim' Holstein < Montbéliarde < Normande), plus la distribution du nombre de morts en fonction de l'âge à la mort se rapproche de celle des races allaitantes.

Le nombre de morts par âge décroît après trois ans plus rapidement chez les vaches laitières que chez les allaitantes : parmi les femelles mortes de plus de trois ans, l'âge moyen à la mort était de 6,0 ans chez les laitières et de 8,1 ans chez les allaitantes. Globalement, la vie productive (vêlages et lactation) semble être associée à une mortalité plus importante chez les laitières que chez les allaitantes puisque les taux de mortalité de 2 à 3,5 ans et de 3,5 à 5 ans chez les bovins laitiers sont respectivement 1,7 et 2,0 fois plus élevés que de un à deux ans (tableaux 1 et 2), tandis que cette différence est très faible chez les bovins allaitants (rapports respectivement de 0,98 et 1,07).

Dans la littérature scientifique, la mortalité des adultes est souvent décrite par le risque annuel de mortalité après deux ans. Toutes catégories confondues, le risque annuel de mortalité des animaux de plus de deux ans dans notre population était de 2% chez les bovins allaitants et 3,5% de chez les bovins laitiers. Le risque annuel de mortalité chez les bovins laitiers de plus de deux ans varie selon les études de 0,96% à 6,4% (Agger et Willeberg 1991, Esslemont et Kossaibati 1997, Faye et Pérochon 1995, Gardner *et al* 1990, Karuppanan *et al* 1997, Menzies *et al* 1995,

Norgaard *et al* 1999, Stevenson et Lean 1998, Thomsen *et al* 2004, USDA 2007). Pour les bovins allaitants, les études proposant des valeurs de mortalité pour les animaux de plus de deux ans sont plus rares : risque annuel de 2,4% en Irlande (Menzies *et al* 1995), 1,1% au Canada (Waldner *et al* 2009), 1,5% aux Etats-Unis (USDA 2010).

L'écart que nous avons observé chez les bovins adultes entre les deux types de production (cet écart est maximum entre 5 et 10 ans, avec un taux de mortalité 2,4 fois plus élevé chez les laitiers que chez les allaitants) a déjà été rapporté, mais n'est toutefois pas une règle absolue : une étude menée en Irlande a rapporté par exemple des taux de mortalité plus élevés dans le cheptel allaitant que dans le cheptel laitier (Menzies *et al* 1995).

2.4 / Evolution temporelle de la mortalité

a) Saisonnalité

Le nombre de morts notifiées n'est pas régulier au cours de l'année (figure 5). Une partie de cette variation est liée aux fluctuations de la population (en taille et en âge), elles-mêmes provoquées par la forte saisonnalité des vêlages : le nombre de vêlages présente un pic au mois de mars dans le cheptel allaitant et au mois de septembre dans le cheptel laitier (figure 5).

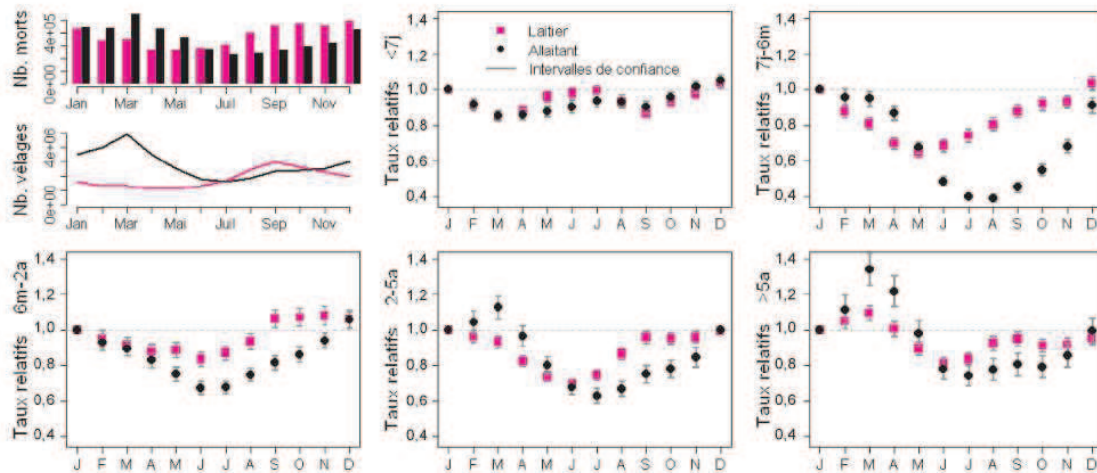
Mais en parallèle de la population à risque, les taux de mortalité varient eux aussi de manière saisonnière, avec un

effet du mois différent selon le sous groupe populationnel considéré (figure 5). L'amplitude des fluctuations saisonnières est plus forte chez les bovins allaitants que chez les laitiers. La plus grande amplitude s'observe chez les veaux allaitants de sept jours à six mois, dont le taux de mortalité est 2,6 fois plus élevé au mois de janvier qu'au mois d'août.

Pour les animaux de plus de sept jours, les taux de mortalité sont au plus haut au cours de l'hiver (pic entre novembre et mars) et au plus bas en été (mai-juin pour les laitiers et juillet-août pour les allaitants). Chez les veaux de moins de sept jours, les taux de mortalité présentent deux pics d'ampleur équivalente : l'un au milieu de l'été (mois de juin-juillet) et l'autre en hiver (mois de décembre).

Les études de la saisonnalité des taux de mortalité des veaux ne sont pas toutes concordantes. Certaines mettent en évidence, conformément à nos résultats, des taux de mortalité plus élevés en hiver (voir Mee *et al* 2008) pour une revue dans les pays nordiques) et plus faibles au printemps (Bleul 2011). Cette différence est généralement attribuée à l'incidence plus élevée de maladies respiratoires et digestives en hiver (Bleul 2011). D'autres auteurs font par ailleurs état d'un pic de mortalité périnatale au mois de juin comme nous l'avons observé. Dans les pays nordiques, celui-ci est généralement attribué au stress engendré par le retour à la pâture (Auran 1972, Philipsson 1976, Simensen 1982, cités par Mee *et al*

Figure 5. Répartition mensuelle des morts et des vêlages notifiés de 2003 à 2009 en France par type de production (laitier en rouge et allaitant en noir), et valeurs des taux de mortalité relatifs mensuels (janvier étant le mois de référence) par classe d'âge.



2008). En Irlande où le retour au pré est plus précoce, cette surmortalité des veaux était plutôt attribuée à des troubles métaboliques liés à l'état d'engraissement trop important des vaches gestantes lors de la repousse de printemps, ainsi qu'au manque de surveillance des vêlages tardifs (Mee *et al* 2008). Comme le suggère cet auteur, nos résultats semblent aussi indiquer que les vêlages hors-saison sont défavorables à la survie des veaux : les taux de mortalité des veaux de moins de sept jours les plus bas étaient observés lors des pics de vêlages (mois de mars chez les allaitants et septembre chez les laitiers). Mais cette observation n'est pas toujours partagée : dans une étude espagnole, le risque de mortalité était par exemple plus faible au début de la saison de vêlage (décembre à février) et augmentait en même temps que le nombre de vêlages (Tarres *et al* 2005). Les conditions météorologiques pourraient aussi être à l'origine des deux pics de mortalité que nous observons puisque la chaleur estivale et le froid hivernal présenteraient tout deux un risque accru de mortalité des veaux (Martin *et al* 1975).

Chez les bovins adultes, les études menées font généralement état de taux de mortalité plus faibles en été et plus élevés au printemps (Agger et Willeberg 1991, Faye et Pérochon 1995, Waldner *et al* 2009). Cette saisonnalité est généralement attribuée à la saison de vêlage, la période *peripartum* étant une période à risque de mortalité accru pour les vaches. La simultanéité des pics de mortalité chez les adultes et des pics de vêlages que nous avons observée dans chaque type de production (figure 5) conforte cette hypothèse : une augmentation importante des taux de mortalité

est observée à l'automne chez les bovins laitiers adultes, et au mois de mars chez les bovins allaitants. De même, chez les allaitants, la légère augmentation du nombre de vêlages en septembre, est accompagnée d'une inflexion du taux de mortalité chez les bovins de plus de deux ans.

Toutefois, nous avons aussi constaté que le taux de mortalité des vaches laitières ne décroissait pas après le pic de vêlage automnal, voire augmentait en fin d'hiver, à une période à laquelle le nombre de vêlages laitiers est plutôt décroissant (figure 5). D'autres facteurs, notamment météorologiques (Crescio *et al* 2010, Stull *et al* 2008) ou zootechniques (inadaptation du logement hivernal, pression d'infection augmentée en stabulation, troubles métaboliques à la mise à l'herbe...), semblent donc être également impliqués dans la saisonnalité des taux de mortalité des bovins adultes.

b) Tendances de 2003 à 2009

Les modèles que nous avons ajustés sur les séries chronologiques de mortalité ont identifié dans chaque sous-groupe populationnel une augmentation significative du taux de mortalité au cours de la période 2003-2009 (figure 6). La plus forte augmentation a été observée chez les bovins laitiers de six mois à deux ans, pour qui le taux de mortalité a augmenté en moyenne de 4,3% (augmentation en valeur relative) par an entre 2003 et 2009.

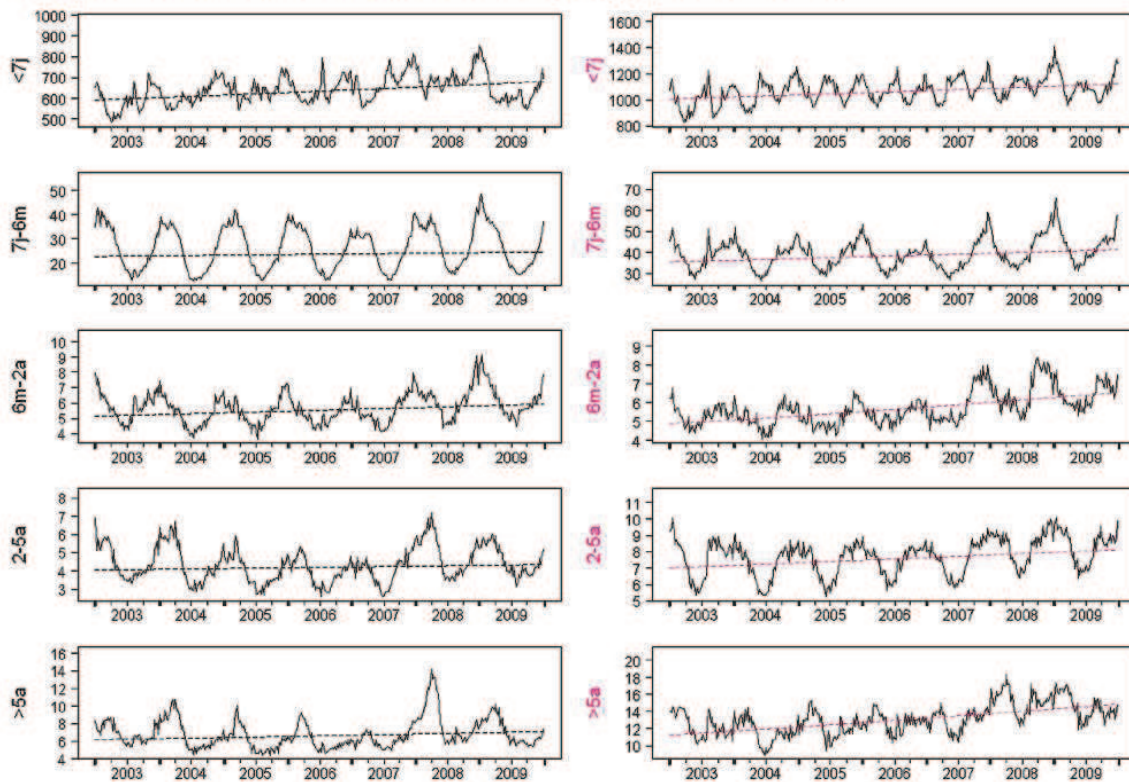
Pour les veaux de moins de sept jours, l'augmentation annuelle moyenne du taux de mortalité était plus forte chez les bovins allaitants (2,0%) que chez les bovins laitiers (1,5%). Pour toutes les

autres catégories d'âge (de 7 jours à 6 mois, 6 mois à 2 ans, 2 à 5 ans et plus de 5 ans), l'augmentation était plus forte chez les bovins laitiers (respectivement 2,1%, 4,3%, 2,0%, 4,0%) que chez les bovins allaitants (respectivement 1,1%, 2,0%, 1,0%, 2,0%).

Des modèles similaires ont été ajustés sur la période 2003-2006, en excluant les années 2007-2009, afin d'évaluer l'impact de l'épizootie de Fièvre Catarrhale Ovine (FCO) sur la valeur et la significativité de ces tendances. Sur cette période restreinte, seuls les bovins allaitants de moins de six mois ainsi que les bovins laitiers de moins de sept jours et ceux de plus de cinq ans présentaient encore des tendances croissantes significatives. De 2003 à 2006, les tendances des taux de mortalité des bovins allaitants de plus de six mois étaient en revanche significativement décroissantes, tandis que les taux de mortalité des bovins laitiers des catégories de sept jours à cinq ans ne présentaient pas de tendance significative. Ces résultats suggèrent que les excès de mortalité survenus en 2007 et 2008, alors que l'épizootie de FCO se propageait en France, ont pu influencer les tendances estimées sur la période entière.

De nombreuses études, menées au Danemark (Hansen *et al* 2004), en Suisse (Bleul 2011), en Irlande (Mee *et al* 2008), en Suède (Steinbock *et al* 2003) ou en Amérique du Nord (Meyer *et al* 2001) rapportent une augmentation de la mortalité périnatale au fil des années, particulièrement dans le cheptel Holstein. D'autres études font aussi état d'une augmentation des taux de mortalité chez les bovins adultes : le risque de mortalité des vaches laitières au Danemark est ainsi passé de 2% en

Figure 6. Séries des taux hebdomadaires de mortalité selon le type de production (laitier en rouge et allaitant en noir) et la catégorie d'âge (les lignes en pointillé correspondent aux tendances ajustées par les modèles).



1990 à 3,5% en 1999 (Thomsen *et al* 2004) tandis qu'aux Etats-Unis la proportion estimée de vaches mourant chaque année dans le pays est passée de 3,8% en 1996 à 4,8% en 2002 puis 5,7% en 2007 (USDA 2007).

Si les études menées ne permettent pas d'identifier formellement les causes de cette augmentation tendancielle de la mortalité observée dans différents pays, certaines hypothèses ont toutefois été avancées. Aux Etats-Unis, certains auteurs pensent que l'augmentation de la mortalité des bovins laitiers adultes résulte à la fois d'une augmentation de problèmes sanitaires, (qui s'exprime par l'augmentation du nombre de vaches couchées, de problèmes respiratoires, et l'usage croissant d'antibiotiques pour traiter des vaches malades) et d'une évolution des conduites d'élevage (McConnel *et al* 2008). Le rôle sur la mortalité de l'augmentation de l'incidence de maladies spécifiques, telles que le syndrome hémorragique jéjunal par exemple¹, semble moins probable car l'augmentation de la mortalité dépasse celle de l'incidence des maladies spécifiques connues. Au

Danemark, les deux hypothèses avancées sont, d'une part l'augmentation du stress physiologique due à l'augmentation de la production et de la consommation de concentrés, et d'autre part la diminution de l'attention portée aux animaux résultant de l'augmentation de la taille des exploitations et de leur mécanisation (Thomsen *et al* 2004). La proportion croissante de génés Holstein dans le cheptel laitier est également une hypothèse suggérée pour expliquer l'augmentation des taux de mortalité périnatale (Mec *et al* 2008).

Au-delà de ces considérations il est par ailleurs probable que l'amélioration de la notification des morts de bovins, ainsi que l'évolution des normes sanitaires (contraignant l'euthanasie d'animaux qui auraient pu autrefois être abattus et consommés) ont pu avoir une influence sur les évolutions observées dans le cheptel français.

Conclusion

Les valeurs de mortalité bovine proposées dans la littérature scientifique et

technique sont extrêmement variables. La mortalité est probablement influencée par de nombreux facteurs spécifiques à chaque population étudiée (pays, systèmes d'élevage, niveau d'intensification...), mais une part de cette variabilité est vraisemblablement attribuable aux différentes méthodes employées pour notifier et quantifier la mortalité. Contrairement à beaucoup de ces études qui étaient basées sur des échantillons relativement réduits et/ou utilisaient des indicateurs approchés (nombre de vaches mortes sur le nombre de vaches ayant vêlé dans l'année, nombre de vaches mortes sur le nombre de vaches recensées au mois de juin...), nous avons réalisé nos estimations à partir d'une base de données très complète (correspondant à l'ensemble de la population bovine française sur sept années, soit 75 millions d'animaux) et en utilisant un dénominateur très précis (nombre de bovin-jours dans chaque sous-groupe populationnel).

L'analyse descriptive des données collectées par la BDNI a ainsi permis d'obtenir des statistiques fiables sur la mortalité bovine en France. Les

¹ http://www.extension.org/pages/Adult_Dairy_Cow_Mortality.

effectifs, taux et risques de mortalité calculés offrent une base de référence pouvant être utilisée pour évaluer des situations observées en élevage ou dans une région spécifique.

Les indicateurs estimés révèlent l'importance de la mortalité bovine, particulièrement chez les jeunes animaux. Nous avons constaté une augmentation des taux de mortalité de 2003 à 2009 dans tous les sous-groupes populationnels étudiés. Cette augmentation est probablement en partie due à l'épizootie de FCO qui s'est propagée en France de 2007 à 2008. Toutefois, de nombreuses

études étrangères font elles aussi état d'une augmentation des taux de mortalité dans le cheptel bovin, même en l'absence d'épizootie de grande ampleur. Cette évolution défavorable a des conséquences économiques importantes pour les éleveurs et pose la question du bien-être animal. En effet on peut s'étonner que les progrès accomplis en matière de génétique et de zootechnie, ainsi que l'amélioration des matériels agricoles et des connaissances vétérinaires ne soient pas accompagnés d'une diminution de la mortalité dans le cheptel bovin. Une étude plus approfondie de cette augmentation supposée et

de ses causes semble nécessaire pour pouvoir proposer d'éventuelles mesures correctrices (amélioration du suivi des vêlages, de la prise de colostrum, des conditions de stabulation hivernale...).

Remerciements

Les auteurs remercient le Bureau de la Maîtrise d'Ouvrage des Systèmes d'Information de l'Alimentation (BMOSIA) de la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) pour l'accès aux données ainsi qu'André Gauffier pour son implication et son soutien actif au projet.

Références

- Agger J.F., Willeberg P., 1991. Production and mortality in dairy cows from 1960-1990: Time series analysis of ecological data. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, August 1991, Ottawa, Canada, 357-360.
- Auran T., 1972. Factors affecting the frequency of stillbirths in Norwegian cattle. *Acta Agric. Scand.*, 22, 178-182.
- Azzam S.M., Kinder J.E., Nielsen M.K., Werth L.A., Gregory K.E., Cundiff L.V., Koch R.M., 1993. Environmental effects on neonatal mortality of beef calves. *J. Anim. Sci.*, 71, 282-290.
- Bellows R.A., Patterson D.J., Burfening P.J., Phelps D.A., 1987. Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. II. Factors contributing to calf death. *Theriogenology*, 28, 573-586.
- Bleul U., 2011. Risk factors and rates of perinatal and postnatal mortality in cattle in Switzerland. *Livest. Sci.*, 135, 257-264.
- Crescio M.L., Forastiere F., Maurella C., Ingravalle F., Ru G., 2010. Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Prev. Vet. Med.*, 97, 191-197.
- Drevenstedt G.L., Crimmins E.M., Vasunilashorn S., Finch C.E., 2008. The rise and fall of excess male infant mortality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 105, 5016-5021.
- Esslemont R.J., Kossaibati M.A., 1997. Culling in 50 dairy herds in England. *Vet. Rec.*, 140, 36-39.
- Faye B., Pérochon L., 1995. La mortalité des vaches laitières dans l'enquête écopathologique Bretagne. *Vet. Res.*, 26, 124-131.
- Fuerst-Waltl B., Fuerst C., 2010. Mortality in Austrian dual purpose Fleckvieh calves and heifers. *Livest. Sci.*, 132, 80-86.
- Ganaba R., Bigras-Poulin M., Bélanger D., Couture Y., 1995. Description of cow-calf productivity in Northwestern Quebec and path models for calf mortality and growth. *Prev. Vet. Med.*, 24, 31-42.
- Gardner I.A., Hird D.W., Utterback W.W., Danaye-Elmi C., Heron B.R., Christiansen K.H., Sischo W.M., 1990. Mortality, morbidity, case-fatality, and culling rates for California dairy cattle as evaluated by the national animal health monitoring system, 1986-87. *Prev. Vet. Med.*, 8, 157-170.
- Goyache F., Gutiérrez J.P., Alvarez I., Fernández I., Royo L.J., Gómez E., 2003. Genetic analysis of calf survival at different preweaning ages in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.*, 83, 13-20.
- Gulliksen S.M., Lie K.I., Løken T., Østerås O., 2009. Calf mortality in Norwegian dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 92, 2782-2795.
- Hansen M., Madsen P., Jensen J., Pedersen J., Christensen L.G., 2003. Genetic parameters of postnatal mortality in Danish holstein calves. *J. Dairy Sci.*, 86, 1807-1817.
- Hansen M., Misztal I., Lund M.S., Pedersen J., Christensen L.G., 2004. Undesired phenotypic and genetic trend for stillbirth in Danish Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 87, 1477-1486.
- Holleville P., Michenot B., 2009. Estimation des pertes par mortalité en élevage. In: Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires. SNGTV (Eds). Paris, France, 21-24.
- Johanson J.M., Berger P.J., 2003. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 86, 3745-3755.
- Jougle E., 1997. Statistic tests concerning population mortality indicators. *Rev. Epidemiol. Sante Publique*, 45, 78-84.
- Karuppanan P., Thurmond M.C., Gardner I.A., 1997. Survivorship approaches to measuring and comparing cull rates for dairies. *Prev. Vet. Med.*, 30, 171-179.
- Lombard J.E., Garry F.B., Tomlinson S.M., Garber L.P., 2007. Impacts of dystocia on health and survival of dairy calves. *J. Dairy Sci.*, 90, 1751-1760.
- Losinger W.C., Heinrichs A.J., 1997. Management practices associated with high mortality among preweaned dairy heifers. *J. Dairy Res.*, 64, 1-11.
- Martin S.W., Schwabe C.W., Franti C.E., 1975. Dairy calf mortality rate: the association of daily meteorological factors and calf mortality. *Can. J. Comp. Med.*, 39, 377-388.
- Martinez M.L., Freeman A.E., Berger P.J., 1983. Factors affecting calf livability for Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 66, 2400-2407.
- McConnel C.S., Lombard J.E., Wagner B.A., Garry F.B., 2008. Evaluation of factors associated with increased dairy cow mortality on United States dairy operations. *J. Dairy Sci.*, 91, 1423-1432.
- Mee J.F., Berry D.P., Cromie A.R., 2008. Prevalence of, and risk factors associated with, perinatal calf mortality in pasture-based Holstein-Friesian cows. *Animal*, 2, 613-620.
- Menzies F.D., Bryson D.G., McCallion T. et Matthews D.L., 1995. A study of mortality among suckler and dairy cows in Northern Ireland in 1992. *Vet. Rec.*, 137, 531-536.
- Meyer C.L., Berger P.J., Koehler K.J., Thompson J.R., Sattler C.G., 2001. Phenotypic trends in incidence of stillbirth for Holsteins in the United States. *J. Dairy Sci.*, 84, 515-523.
- Nix J.M., Spitzer J.C., Grimes L.W., Burns G.L., Plyler B.B., 1998. A retrospective analysis of factors contributing to calf mortality and dystocia in beef cattle. *Theriogenology*, 49, 1515-1523.
- Norberg E., 2008. A genetic study of postnatal mortality in Danish Jersey heifer calves. In: 59th Annual meeting of the European Association for Animal Production, 24-27 August 2008, Vilnius, Lithuania.
- Norgaard N.H., Lind K.M., Agger J.F., 1999. Cointegration analysis used in a study of dairy-cow mortality. *Prev. Vet. Med.*, 42, 99-119.
- Offredo T., 2010. Mortalité des veaux en élevages allaitants. *Terragricoles-de-Bretagne*, 227, 35.
- Patterson D.J., Bellows R.A., Burfening P.J., Carr J.B., 1987. Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. I. Calf loss incidence from birth to weaning, backward and breech presentations and effects of calf loss on subsequent pregnancy rate of dams. *Theriogenology*, 28, 557-571.
- Perrin J.B., Ducrot C., Vinard J.L., Morigant E., Gauffier A., Calavas D., Hendrikx P., 2010. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics*, 2, 207-214.
- Philipsson J., 1976. Studies on calving difficulty, stillbirth and associated factors in Swedish cattle breeds. II. Effects of non-genetic factors. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 26, 165-174.
- Rao M.K., Nagarcenkar R., 1980. Calf mortality in crossbred dairy cattle. *Trop. Anim. Health Prod.*, 12, 137-144.

- Schumann F.J., Townsend H.G., Naylor J.M., 1990. Risk factors for mortality from diarrhea in beef calves in Alberta. *Can. J. Vet. Res.*, 54, 366-372.
- Simensen E., 1982. An epidemiological study of calf health and performance in Norwegian dairy herds. II. Factors affecting mortality. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 32, 421-427.
- Steinbock L., Nasholm A., Berglund B., Johansson K., Philipsson J., 2003. Genetic effects on stillbirth and calving difficulty in Swedish Holsteins at first and second calving. *J. Dairy Sci.*, 86, 2228-2235.
- Stevenson M.A., Lean I.J., 1998. Descriptive epidemiological study on culling and deaths in eight dairy herds. *Aust. Vet. J.*, 76, 482-488.
- Stull C.L., Messam L.L.M.V., Collar C.A., Peterson N.G., Castillo A.R., Reed B.A., Andersen K.L., VerBoort W.R., 2008. Precipitation and temperature effects on mortality and lactation parameters of dairy cattle in California. *J. Dairy Sci.*, 91, 4579-4591.
- Svensson C., Linder A., Olsson S.O., 2006. Mortality in Swedish dairy calves and replacement heifers. *J. Dairy Sci.*, 89, 4769-4777.
- Tarres J., Casellas J., Piedrafita J., 2005. Genetic and environmental factors influencing mortality up to weaning of Bruna dels Pirineus beef calves in mountain areas. A survival analysis. *J. Anim. Sci.*, 83, 543-551.
- Thomsen P.T., Kjeldsen A.M., Sorensen J.T., Houe H., 2004. Mortality (including euthanasia) among Danish dairy cows (1990-2001). *Prev. Vet. Med.*, 62, 19-33.
- Torsein M., Lindberg A., Sandgren C.H., Waller K.P., Törnquist M., Svensson C., 2011. Risk factors for calf mortality in large Swedish dairy herds. *Prev. Vet. Med.*, sous presse.
- USDA, 2007. Dairy 2007, Part I: Reference of Dairy Cattle Health and management Practices in the United States, 2007. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, 128.
- USDA, 2010. Mortality of calves and cattle on U.S. beef cow-calf operations. APHIS Info sheet, United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service.
- Virtala A.M., Mechor G.D., Grohn Y.T., Erb H.N., 1996. Morbidity from non respiratory diseases and mortality in dairy heifers during the first three months of life. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 208, 2043-2046.
- Waldner C.L., Kennedy R.I., Rosengren L., Clark E.G., 2009. A field study of culling and mortality in beef cows from western Canada. *Can. Vet. J.*, 50, 491-499.
- Waldner C.L., Kennedy R.I., Rosengren L.B., Pollock C.M., Clark E.T., 2010. Gross postmortem and histologic examination findings from abortion losses and calf mortalities in western Canadian beef herds. *Can. Vet. J.*, 51, 1227-1238.
- Wittum T.E., Salman M.D., Odde K.G., Mortimer R.G., King M.E., 1993. Causes and costs of calf mortality in Colorado beef herds participating in the National Animal Health Monitoring System. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 203, 232-236.

Résumé

La mortalité bovine est un problème important, tant au plan économique que du point de vue du bien-être animal. Nous avons analysé les données enregistrées dans la base de données nationale d'identification de 2003 à 2009, décrivant la carrière d'environ 75 millions de bovins, afin de fournir des statistiques fiables de la mortalité bovine en France. Les résultats de cette étude constituent un référentiel pouvant être utilisé pour évaluer des situations observées en élevage.

En moyenne sur cette période, le risque de mortalité périnatale des mâles et des femelles atteignait respectivement 7,9% et 6,0% dans le cheptel laitier, et 4,7% et 3,2% dans le cheptel allaitant. Le risque de mortalité annuel moyen des animaux de plus de deux ans était de 3,5% chez les laitiers et de 2,0% chez les allaitants. La mortalité des bovins laitiers était significativement plus élevée que celle des allaitants pour les dix classes d'âge étudiées, sauf celle de un à deux ans. La modélisation des données hebdomadaires a permis de décrire la saisonnalité des taux de mortalité, qui était différente selon le sous-groupe populationnel considéré. Les taux de mortalité des veaux de moins de sept jours présentaient notamment deux pics d'ampleur équivalente (en décembre et juillet), tandis que les autres classes d'âge présentaient un pic principal en hiver, visiblement associé chez les adultes au pic de vêlage. Les résultats de cette modélisation ont par ailleurs révélé une augmentation significative des taux de mortalité de 2003 à 2009, probablement en partie due à l'épizootie de fièvre catarrhale ovine qui s'est propagée en France en 2007-2008. L'augmentation des taux de mortalité bovine a déjà été constatée dans de nombreux pays, suggérant la nécessité de mettre en place des mesures correctrices.

Abstract

Analysis of cattle mortality in France, 2003-2009

Cattle mortality represents both an economical and an animal welfare issue. We analyzed the data recorded in the National Cattle Register from 2003 to 2009, gathering data about 75 million cattle, to provide reliable statistics of cattle mortality in France.

On average over this period, the perinatal mortality risk in males and females reached respectively 7.9% and 6.0% in dairy cattle, and 4.7% and 3.2% in beef cattle. The average annual mortality risk of animals over two years was 3.5% for dairy and 2.0% for beef cattle. Mortality of dairy cattle was significantly higher than that of beef cattle for the ten age groups studied, except for those of one to two years. Weekly data were modeled to describe the seasonality of mortality, which was different among the different sub-population groups. The mortality rate of calves less than seven days old showed two peaks of equal magnitude (in December and July), while other age groups showed a major peak in the winter, apparently associated in adults to the peak of calving. The modeling results of the model also revealed a significant increase in death rates from 2003 to 2009, probably partly due to the blue tongue epizootic that spread in France from 2007 to 2008. Rising rates of cattle mortality have already been observed in many countries, suggesting the need to implement corrective measures.

PERRIN J.-B., DUCROT C., VINARD J.-L., HENDRIKX P., CALAVAS D., 2011. Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009. *INRA Prod. Anim.*, 24, 235-244.

4.3 Répartition spatiale de la mortalité bovine

L'hétérogénéité spatiale de la santé dans les populations humaines est un phénomène étudié depuis longtemps, mais ce n'est que depuis le début des années 1990 que l'approche territoriale de la santé s'est véritablement développée, en raison d'une volonté politique de mettre en place des programmes de santé adaptés aux spécificités régionales. Les disparités spatiales de santé sont traditionnellement mesurées par des indicateurs traduisant les inégalités de mortalité, en raison de leur bonne fiabilité et précision. Des atlas de la mortalité humaine ont ainsi été produits à l'échelle européenne (Union Européenne, 2002), nationale (Rican et al., 2003) et régionale (Observatoire régional de la Santé Poitou-Charentes, 2009).

Ce type de document n'existe pas en santé animale. Les données disponibles nous ont permis de décrire la distribution spatiale de la mortalité bovine en France, que nous présentons ci-après accompagnée d'informations sur la distribution spatiale de la mortalité humaine en France.

4.3.1 Unité spatiale d'étude

L'étude de la distribution spatiale d'indicateurs de santé se fait souvent à partir d'unités spatiales correspondant à des unités administratives (villes, cantons, départements ou régions en France). Cette approche masque cependant des particularismes indépendants du découpage administratif, les frontières administratives régionales s'avérant parfois très éloignées des réalités de la géographie humaine: par exemple en Poitou-Charentes, le nord Deux-Sèvres partage son modèle d'industrie rurale avec la Vendée voisine (Observatoire régional de la Santé Poitou-Charentes, 2009).

Lorsque les informations nécessaires sont disponibles, des unités spatiales peuvent être définies à partir de critères reflétant mieux l'environnement des populations, comme les bassins de vie ou d'emploi en santé humaine, et les bassins de production en santé animale. Cette partition est cependant délicate et il n'y a pas de consensus permettant de délimiter les bassins en production animale. Nous avons donc choisi de segmenter le territoire de façon strictement géométrique, ce qui permet de représenter l'hétérogénéité de la mortalité à une échelle fine.

Nous avons donc décrit la distribution de la mortalité bovine sur le territoire français par département, mais aussi par rapport à un maillage hexagonal régulier. Les taux de mortalité bruts et standardisés ont été estimés pour chaque hexagone de ce réseau et cartographiés.

4.3.2 Taux bruts de mortalité

La mortalité frappe inégalement la population humaine dans l'espace français (Salem et al., 1999). Les taux bruts varient de plus de 1 à 4 à l'échelle des zones d'emploi. Leur répartition géographique n'offre pas pour autant l'image d'un patchwork éclaté, mais s'ordonne en grandes plages à peu près homogènes (Figure 38).

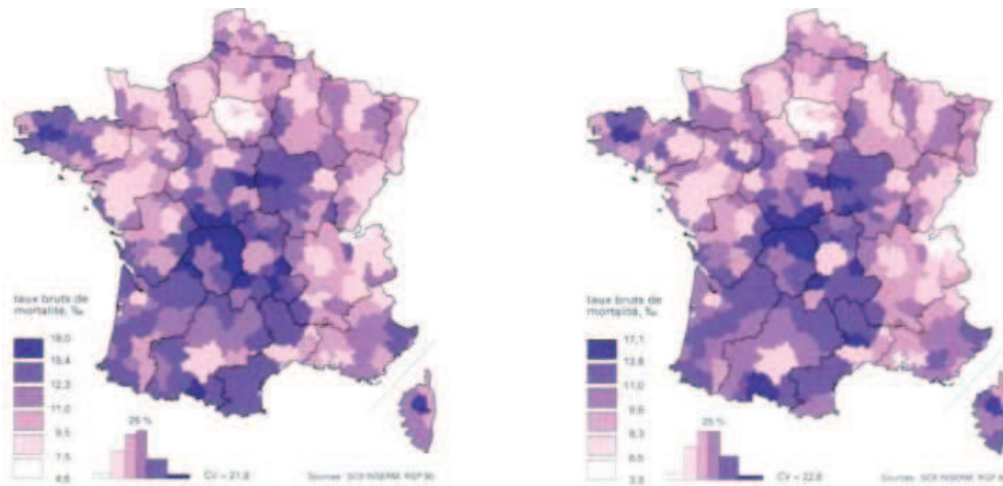


Figure 38 : Taux bruts de mortalité humaine à l'échelle des zones d'emploi (hommes à gauche, femmes à droite), 1988-1992 (Salem et al., 1999)

De même, la distribution sur le territoire des taux bruts de mortalité bovine ne semble pas aléatoire (Figure 39). La cartographie des taux bruts de mortalité bovine calculés sur une grille hexagonale de 15 km de diamètre en 2005 montre qu'il existe de grandes régions à fort taux de mortalité (Grand Ouest) et d'autres zones où les taux estimés sont au contraire plutôt faibles (Centre).

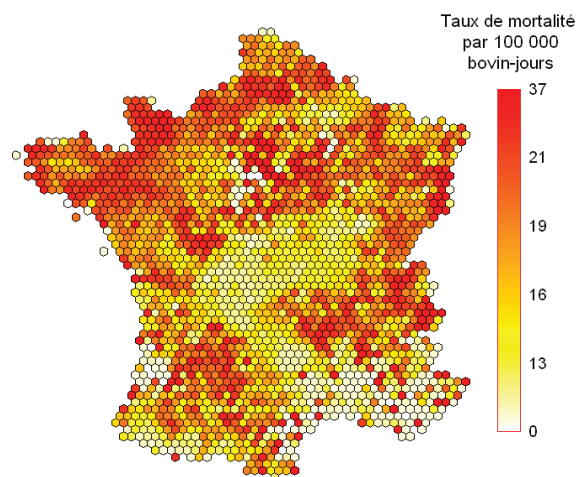


Figure 39 : Taux bruts de mortalité bovine par hexagone en 2005

La dispersion des taux bruts de décès humains est essentiellement déterminée par les différences d'âges des populations : dans les pays développés, l'effectif des décès est actuellement étroitement corrélé à celui des personnes âgées et peu influencé par les différences de risque de décès à âge égal (Salem et al., 1999). La dispersion régionale des taux bruts de mortalité bovine observée s'explique elle aussi en grande partie par les différences de composition de la population bovine, en âge mais aussi et surtout en type de production. L'Ouest de la France est en effet un bassin de production laitier tandis que le Centre est un bassin de production allaitant (cf. paragraphe 3.2.2).

4.3.3 Taux de mortalité standardisés

En santé humaine, la standardisation sur l'âge des taux de mortalité révèle un T septentrional de surmortalité s'emboîtant dans un U méridional de sous mortalité (Figure

40). Les taux comparatifs de mortalité varient d'un rapport de 1 à 2,5 entre les zones de plus faible mortalité et les zones de plus forte mortalité. A d'autres échelles, des spécificités régionales sont mises en évidence : Picardie, Lorraine et Alsace sont par exemple caractérisées par une forte homogénéité des taux de mortalité tandis que des discontinuités nettes s'observent en Bretagne et dans le Limousin (Salem et al., 1999).

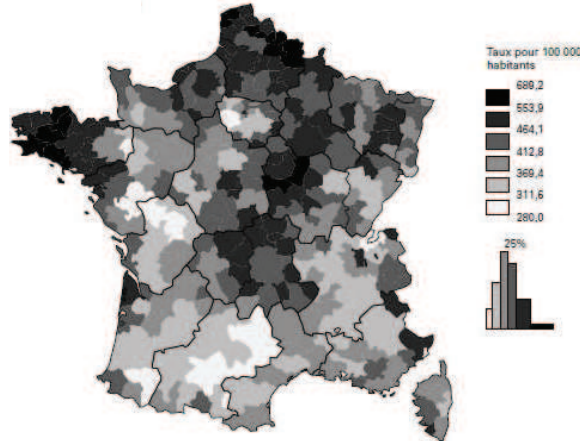


Figure 40 : Taux comparatifs (standardisés sur l'âge) masculins de mortalité (25-59 ans) à l'échelle des zones d'emploi sur la période 1988-1992 (Rican et al., 2003)

Nous avons standardisé les taux de mortalité dans la population bovine en fonction de l'âge (10 catégories) et du type de production (laitier et allaitant), en prenant la population nationale en 2005 comme population de référence.

Malgré cette standardisation, l'hétérogénéité de la distribution de la mortalité bovine sur le territoire persiste, que nous considérons le niveau départemental (Figure 41) ou hexagonal (Figure 42). Cette standardisation fait apparaître une surmortalité relative dans le Nord et le Nord Ouest de la France et une sous mortalité relative dans certaines régions laitières (Bretagne, Franche-Comté).

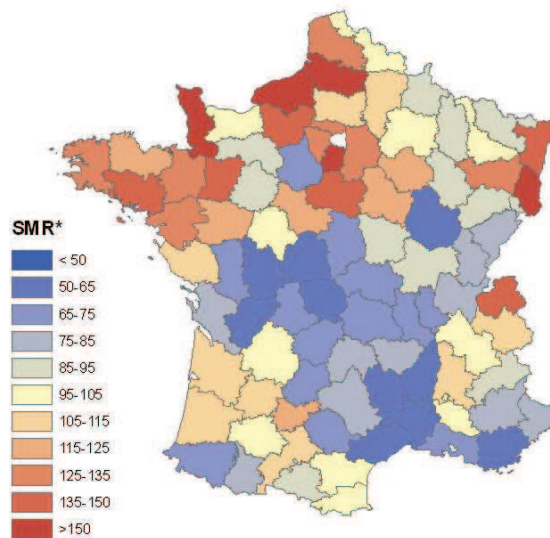


Figure 41 : Indices comparatifs de mortalité bovine (SMR) par département en 2005, obtenus par standardisation sur l'âge et le type de production (population de référence : population nationale en 2005)

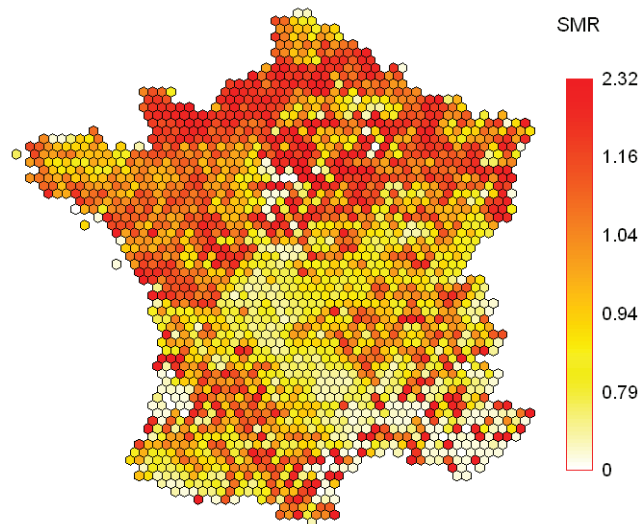
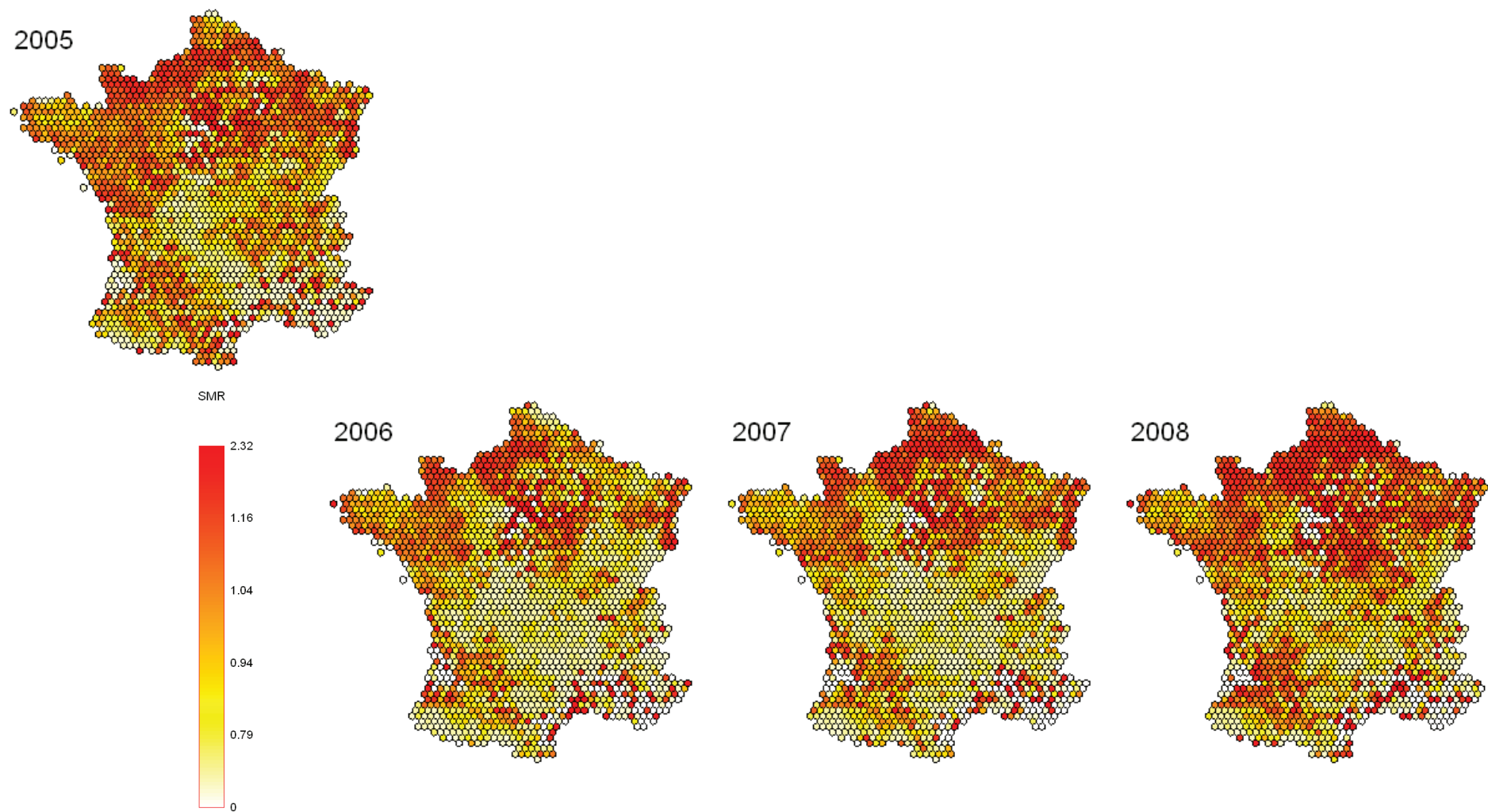


Figure 42 : Indices comparatifs de mortalité (SMR) bovine par hexagone en 2005, obtenus par standardisation sur l'âge et le type de production (population de référence : population nationale en 2005)

Des disparités régionales de la mortalité sont observées d'une année sur l'autre, de 2005 à 2008 (Figure 43). Si les grandes tendances se maintiennent au cours de ces quatre années, les écarts de mortalité d'une région à l'autre ont toutefois été variables, avec notamment une surmortalité relative particulièrement importante dans le Nord Est de la France en 2007 et 2008.

Figure 43 : SMR (standardisation sur l'âge et le type de production) par hexagone par année (2005-2008).

La population de référence est la population nationale en 2005



4.3.4 Interprétation des disparités observées

Certains des facteurs concourant à l'opposition observée en santé humaine entre les régions septentrionales, touchées par la désindustrialisation de zones historiquement ouvrières, et les régions méridionales, caractérisées par la ruralité et la faiblesse de l'industrie, sont connus depuis longtemps. Les études menées ont toutefois montré que le poids des facteurs sociaux pour expliquer les disparités spatiales de la mortalité humaine en France est relativement modéré : les disparités régionales restent fortes après prise en compte des facteurs sociaux (Rican et al., 2003). Le « fait régional » en France traduit en fait des comportements spécifiques face à la santé, tant en termes de comportements à risque, d'habitudes nutritionnelles et de recours aux soins.

Les disparités spatiales de mortalité bovine que nous avons mises en évidence en France, qui persistent après standardisation sur l'âge et le type de production, n'avaient pas été rapportées jusqu'alors et sont difficiles à interpréter. Nous avons constaté entre la distribution de la mortalité humaine et bovine certaines similitudes (surmortalité relatives dans le Nord et le Nord Ouest de la France), mais aussi d'importantes différences (surmortalité relative humaine observée dans le centre de la France, alors que cette zone est plutôt associée à une sous mortalité dans la population bovine). Sans les expliquer, certaines équipes d'autres pays ont elles aussi montré des distributions hétérogènes de la mortalité sur leur territoire (Smith et al., 2000; McConnel et al., 2008; Thomsen and Sorensen, 2009; Crescio et al., 2011).

L'origine de ces disparités pourrait être étudiée par des approches similaires à celles utilisées en santé humaine (ex. les analyses écologiques qui permettent par exemple d'évaluer l'influence du contexte de chaque zone géographique dans la constitution des disparités de mortalité, ou les analyses individuelles qui permettent de vérifier si la mortalité de différents groupes populationnels est identique dans toutes les régions). Nous n'avons pas exploré plus avant l'origine des disparités spatiales de la mortalité en France, qui n'était pas l'objet central de notre étude. Des hypothèses de recherche pourront en revanche être tirées de l'enquête que nous avons réalisée sur les causes de mortalité bovine (cf. paragraphe 5), ainsi que sur les échanges que nous avons eus avec les acteurs locaux de la santé animale sur les résultats que nous avons obtenus. Par exemple, pour les éleveurs des Vosges que nous avons rencontré au cours d'une réunion sur la surmortalité bovine observée dans ce département, la qualité des bâtiments d'élevage et notamment leur adéquation au climat local, ainsi que la pluriactivité (ex. éleveur élevant plusieurs espèces animales et cultivant plusieurs espèces de végétaux) pouvaient expliquer au moins en partie ces disparités.

Des études *ad hoc* devront être menées pour confirmer ou infirmer de telles hypothèses, tirées de l'observation des taux de mortalité standardisés.

4.4 Analyse de la mortalité bovine par département

En sus de l'analyse nationale, nous avons mené des analyses détaillées de la mortalité bovine par département, car de nombreux acteurs de la santé animale sont organisés à cette échelle administrative, notamment les directions départementales en charge de la protection des populations (DDecPP), les groupements de défense sanitaire (GDS), les groupes techniques vétérinaires (GTV) et les laboratoires vétérinaires départementaux (LVD). Les résultats de ces analyses ont été compilés dans des rapports spécifiquement édités pour chaque département (un exemple de résumé est présenté à la Figure 45, un exemple de rapport entier est proposé en Annexe). Chaque rapport a été envoyé à la DDecPP correspondante pour être diffusé aux acteurs locaux de la santé animale.

Les rapports étaient accompagnés d'un questionnaire ayant trois objectifs :

- valider les données en confrontant les résultats de l'analyse avec l'expertise et la connaissance du terrain des professionnels locaux ;
- obtenir des informations sur le contexte associé aux pics de surmortalité identifiés par les modèles dans l'historique du département ;
- évaluer l'intérêt d'éditer de façon régulière un rapport sur la mortalité en regard des attentes des acteurs locaux de la santé animale.

4.4.1 Conception des rapports

Tous les rapports départementaux étaient basés sur le même canevas. Seules les valeurs présentées étaient spécifiques à chaque département.

La première partie des rapports était consacrée à la description des effectifs de mortalité, avec la distribution du nombre de morts selon la race, l'âge, le sexe et le type de production. Ces données brutes étaient nécessaires dans les départements où la population vivante est très faible, ce qui rend les taux peu informatifs.

Dans une seconde partie, les effectifs de mortalité ont été rapportés à la population vivante, calculée grâce à l'algorithme présenté précédemment, afin d'estimer les taux et risques de mortalité pour les différentes sous-populations du département. La distribution des exploitations du département selon leur taille, leur nombre de morts déclarées et leur taux de mortalité était par ailleurs présentée.

La troisième partie décrivait le positionnement du département par rapport aux autres départements français. Le taux brut de mortalité ne pouvant être utilisé pour comparer la mortalité dans des zones de populations différentes, nous avons calculé un indice comparatif de mortalité dans chaque département. Les variables de standardisation utilisées étaient l'âge (dix catégories) et le type de production (laitier et allaitant), la population de référence étant la population bovine nationale en 2009. Chaque rapport présentait les valeurs de tous les SMR départementaux de manière ordonnée et la position du département décrit, ainsi que la cartographie des SMR

La dernière partie du rapport était consacrée à la description temporelle de la mortalité dans le département. Des séries hebdomadaires des taux de mortalité de 2003 à 2009 étaient représentées pour cinq catégories d'âge et deux types de production. Les tendances

significatives étaient indiquées et les pics inhabituels, identifiés par un modèle de Poisson (cf. Article 2) étaient signalés sur chaque courbe.

4.4.2 Analyse des questionnaires

Sur les 94 départements interrogés, 50 réponses ont été reçues en provenance de 43 départements. Cinq de ces réponses indiquaient l'impossibilité de répondre au questionnaire par manque de temps et/ de connaissances.

Au total, 45 questionnaires étaient donc exploitables. Trente-cinq provenaient de DDecPP, cinq de GDS, trois de GTV et deux de LVD.

4.4.2.1 *Compatibilité des indicateurs avec les observations de terrain*

Soixante-sept pourcent des répondants ont jugé les valeurs de mortalité présentées (valeurs de référence, cartographie, évolution temporelle) conformes aux observations de terrain, tandis que 31% considéraient ne pas être en mesure de se prononcer.

Seul un répondant a considéré que les valeurs de mortalité présentées n'étaient que partiellement compatibles avec les observations de terrain, considérant que celles-ci sous-estimaient la mortalité des jeunes bovins, dont les morts sont sous-déclarées. L'un des répondants a souligné l'existence possible de biais dus à l'indemnisation des veaux mort-nés pour la gestion de la FCO qui a entraîné une sur-déclaration des mortalités. Ces deux remarques paraissent tout à fait fondées.

4.4.2.2 *Evènements identifiés*

Les questionnaires ont permis de collecter des éléments d'interprétation pour 154 pics de mortalité (ou ensemble de pics) identifiés dans 32 départements entre 2003 et 2009.

Les évènements les plus fréquemment associés aux pics de mortalité étaient les foyers de FCO (associés à 104 pics, soit 68% des pics interprétés), les vagues de chaleur et les sécheresses (27 pics, 18%), ainsi que dans une moindre mesure les vagues de froid (6), les abattages sanitaires d'un élevage par mesure administrative (4), les foyers infectieux hors FCO (Diarrhée virale bovine -BVD-, grippe) (3) et les mauvaises conditions de transport ou de détention des animaux (3). L'un des répondants a par ailleurs suggéré qu'un pic de mortalité était vraisemblablement dû à un acte de malveillance survenu dans le département. Un autre considère que les pics identifiés après 2006 correspondraient en fait à un déplacement de la saison de vêlage dans ce département à partir de cette année là.

Des précisions supplémentaires étaient parfois apportées dans le cas des pics associés à la FCO. Pour six de ces pics, les répondants indiquent notamment que l'augmentation de la mortalité est concomitante du début de la campagne de vaccination dans le département et évoquent des chocs anaphylactiques post-vaccinaux. Alors que de nombreux répondants précisent que l'augmentation de la mortalité intervient à une période où la maladie provoque des cas cliniques, cinq indiquent au contraire que celle-ci est retardée par rapport au pic épizootique et serait due à des complications (affaiblissement des troupeaux) plutôt qu'à la maladie en elle-même. Enfin, dans un département (Aveyron) l'hypothèse de la FCO est avancée pour expliquer plusieurs pics de mortalité survenus au début de l'année 2008, alors que les premiers foyers officiels de la maladie dans ce département n'ont été déclarés qu'en juillet 2008.

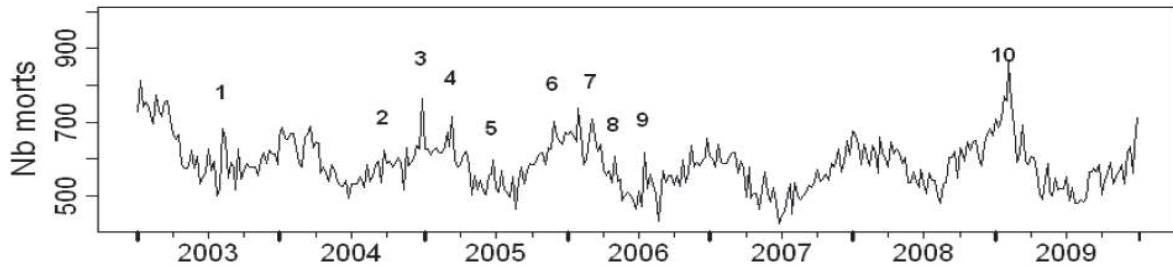


Figure 44 : Série hebdomadaire du nombre de morts de bovins dans le Morbihan de 2003 à 2009. Les chiffres sur la courbe indiquent des pics inhabituels identifiés par le modèle. Selon les services vétérinaires locaux, les pics 1, 2 et 3 correspondent à des semaines pendant lesquelles ont été conduits des abattages sanitaires ESB (respectivement, 41, 53 et 9 animaux abattus). Le pic 10 est associé aux conséquences de la FCO, arrivée dans le département en août 2008

De nombreux pics détectés par les modèles n'ont pu être expliqués par les destinataires des questionnaires. Treize répondants n'ont donné aucune indication sur les pics inhabituels de mortalité identifiés dans leur département. De nombreux répondants indiquaient qu'ils étaient dans l'impossibilité d'interpréter les courbes de mortalité car ils n'étaient pas présents dans le département depuis assez longtemps, et/ou qu'aucune trace n'avait été gardée des événements sanitaires survenus les années précédentes, hors maladies réglementées. Il faut noter que surveiller la mortalité ne fait pas partie des missions des services vétérinaires locaux et, souvent, aucune information sanitaire des éleveurs et des vétérinaires sanitaires n'est remontée aux DDecPP et enregistré, en l'absence de maladies réglementées.

4.4.2.3 Intérêt du document et rythme de diffusion

Globalement, les répondants ont évalué positivement l'intérêt du document avec une note moyenne de 3,5 sur 5.

Onze répondants, dont dix services vétérinaires départementaux et un GTV, ont donné au document une note d'intérêt inférieure à 3 (sur une échelle de 1 à 5). Certains d'entre-eux ont attribué cette note compte tenu du décalage trop important entre les faits et leur rendu. Ceux-ci indiquent que leur avis pourrait être différent si le rythme d'élaboration et d'envoi du rapport était assez rapide pour permettre une action opérationnelle. D'autres indiquaient que le document est intellectuellement intéressant mais peu exploitable d'un point de vue opérationnel et déclaraient ne pas avoir le temps de lire ce type de document, trop occupés à gérer les tâches quotidiennes du service.

L'appréciation du document a été meilleure chez les cinq GDS répondants, qui lui ont attribué une note moyenne de 4,4. Toutefois, il est probable que seuls les GDS intéressés ont répondu au questionnaire tandis que les DDecPP avaient été fortement encouragées à répondre au questionnaire quel que soit leur intérêt pour ce document.

Quatre-vingt quatre pourcent des répondants ont souhaité être destinataires réguliers d'un document actualisé. Certains répondants ayant évalué plutôt défavorablement le document (note inférieure à 3) indiquaient par ailleurs qu'ils souhaitaient recevoir régulièrement le document, ce qui traduit peut-être un usage erroné de l'échelle d'appréciation (inversion des notes). Parmi les 31 répondants ayant indiqué à quel rythme ils voudraient recevoir le document, 65% proposait un rythme annuel, 9% semestriel et 7% mensuel. Cinq répondants suggéraient par ailleurs plusieurs rythmes de diffusion, avec un bulletin d'information

hebdomadaire ou mensuel d'une part (dédié à l'alerte) et un bilan annuel d'autre part. L'un des répondants indiquait qu'il préférerait ne pas recevoir ce type de rapport de manière régulière, jugeant que cela pourrait nuire à l'intérêt qu'il porterait au document, mais plutôt le recevoir uniquement à la suite de pics (ou un creux) inhabituels de mortalité.

4.4.2.4 *Suggestions des répondants*

Vingt-neuf répondants (64%) ont indiqué ce qui leur semblait avoir le plus d'intérêt dans ce rapport. L'élément le plus fréquemment cité était la comparaison aux autres départements (9 répondants), suivi des séries temporelles hebdomadaires (8 répondants), de la stratification sur l'âge (7 répondants), de l'intérêt des données pour l'alerte (5 répondants) et de l'objectivité de la méthodologie / des indicateurs (4 répondants).

La description de la méthodologie (3) et l'aspect rétrospectif des données (2) étaient les éléments ayant le moins d'intérêt dans le document selon les onze répondants à cette question. Deux répondants indiquaient que la présentation des effectifs de mortalité non rapportés à la population présente n'avait pas d'intérêt, tandis que deux autres, en poste dans des départements à très faible population bovine, indiquaient au contraire que le calcul de taux de présentait pas d'intérêt.

Dix-neuf répondants ont indiqué ce qui manquait selon eux au rapport : éléments d'interprétation des valeurs présentées (7), éléments permettant d'identifier les exploitations à risque (4), réactivité (3), distribution spatiale de la mortalité à l'intérieur du département (2), plus d'éléments sur l'effet de la race et du sexe (2), et enfin plus d'information sur la méthodologie (1). L'absence de clefs d'interprétation des surmortalités est l'élément manquant le plus fréquemment cité. Les répondants auraient apprécié de disposer d'informations complémentaires sur la météorologie, l'état du marché (prix du lait et de la viande), les résultats des réseaux d'épidémiologie-surveillance pour pouvoir interpréter les données de mortalité. L'un des répondants suggère d'ajouter des informations sur les autres modes de sortie des bovins (abattages, ventes, exportations, etc.). Plusieurs répondants de DDecPP auraient trouvé plus d'intérêt au rapport si celui-ci identifiait ou fournissait des moyens d'identifier les exploitations à risque accru de mortalité, ou au contraire les exploitations ne déclarant aucune mortalité.

4.4.3 Discussion

Les rapports départementaux sur la mortalité bovine ont représenté une première valorisation des données de mortalité enregistrées dans la BDNI et un premier retour vers les acteurs locaux alimentant la base de données nationale.

Ces documents ont été envoyés aux DDecPP qui avaient la charge de les diffuser aux autres acteurs de la santé animale. Le faible nombre de réponses obtenues des structures autres que DDecPP suggère que la diffusion du document n'a pas été optimale et pourrait être améliorée en diffusant directement les documents auprès des personnes ciblées.

Les rapports proposés, constituant des bilans annuels de mortalité, semblaient davantage correspondre aux attentes des GDS et des maîtres d'œuvre de l'identification locale (EDE ou autres) qu'à celles des DDecPP. En effet, même si la majorité des agents des DDecPP ayant répondu au questionnaire ont jugé le document intéressant, certains d'entre-eux ont indiqué qu'ils ne pouvaient pas l'exploiter d'un point de vue opérationnel. Les suggestions d'amélioration proposées dans les questionnaires indiquent qu'il existe en revanche une

attente au sein des services pour un autre type de document plus réactif et axé sur l'alerte. En effet, même si cela n'était pas l'objet du rapport, beaucoup de répondants ont indiqué qu'ils souhaiteraient être destinataires de bulletins d'information sur la mortalité sur une base plus fréquente (hebdomadaire ou mensuelle), voire uniquement après des pics de mortalité inhabituels. Ce type de document pourrait selon eux potentiellement permettre d'identifier des anomalies et lancer des alertes, et de mieux appréhender les pertes sèches et d'estimer après coup l'impact d'un ensemble d'évènements sur la mortalité des bovins, à condition d'établir une relation de cause à effet. Toutefois, pour permettre l'intervention des services, il ne suffirait pas de présenter plus rapidement et plus fréquemment les données contenues dans les rapports, mais d'y ajouter des éléments permettant d'identifier les exploitations concernées.

Le questionnaire n'a pas permis d'expliquer beaucoup de pics inhabituels dans l'historique, mis à part ceux relatifs à l'épizootie de FCO et à la canicule. Cette difficulté est en grande partie due à un défaut de mémoire, puisque les personnes ont été interrogées plusieurs années après les anomalies à interpréter. L'absence de mémoire collective sur l'historique sanitaire des départements peut sembler problématique. Les DDecPP sont en charge des maladies réglementées et n'enregistrent à ce titre que les informations relatives aux foyers de ces maladies. D'autres structures organisent la surveillance d'autres maladies (BVD, Rhinotrachéite Infectieuse Bovine -IBR-) mais l'information collectée par ces systèmes n'est pas systématiquement conservée et accessible. Un système de surveillance épidémiologique plus global, permettant de collecter et enregistrer des données sur les évènements sanitaires affectant la population, qu'ils soient réglementés ou non, apporterait des informations précieuses pour l'amélioration de la surveillance du cheptel.

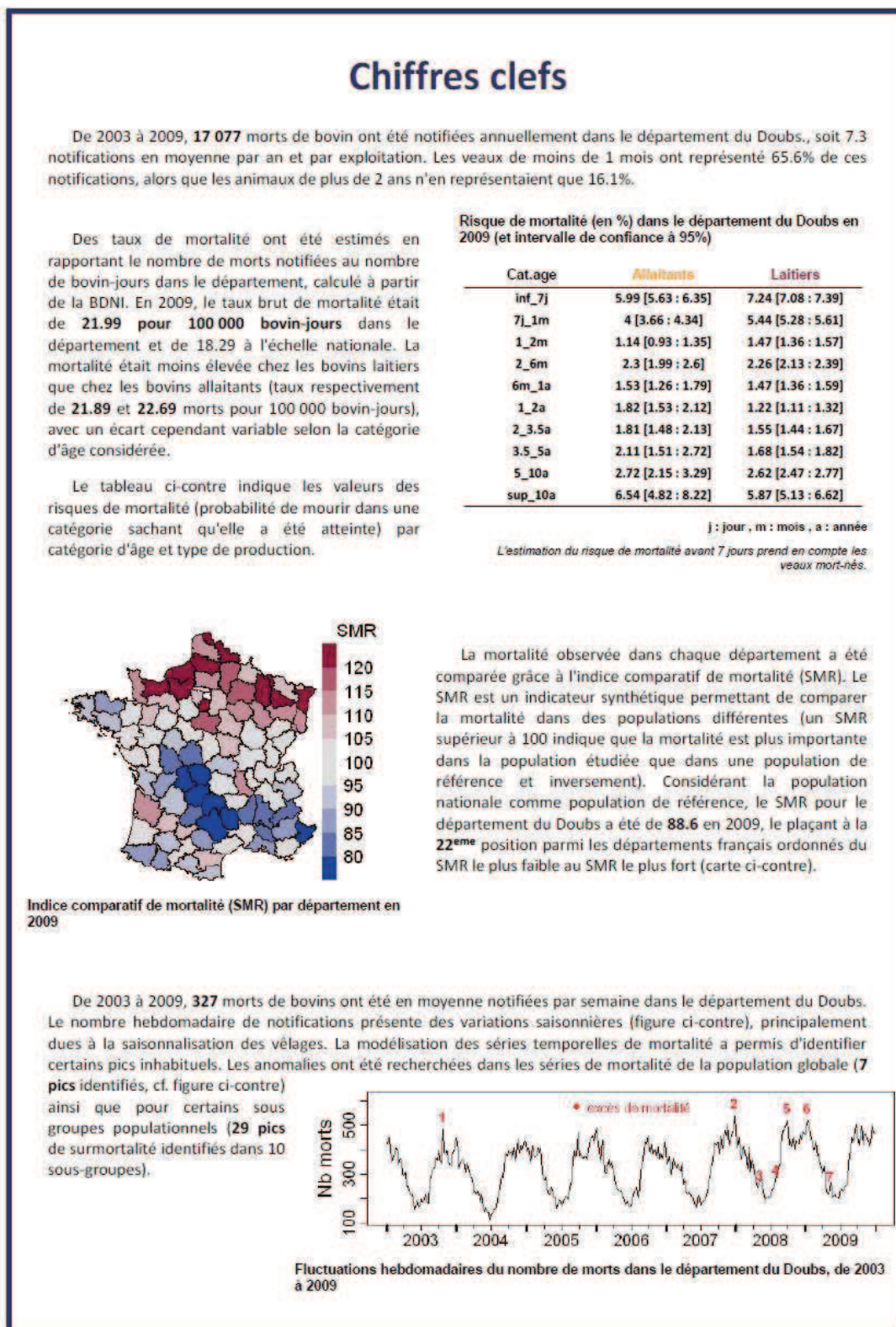


Figure 45 : Exemple de résumé (p.2) d'un rapport départemental sur la mortalité bovine (département 25)

4.5 Retours d'information à l'échelle de l'exploitation

En sus des rapports départementaux sur la mortalité bovine destinés aux acteurs de la santé animale, des résultats d'analyse de la base BDNI ont été compilés dans des bilans élaborés à l'échelle de l'élevage. Ces bilans ont été testés auprès d'un échantillon de quarante éleveurs tirés au sort dans la région Rhône-Alpes, dans le cadre d'une thèse d'exercice vétérinaire, réalisée du 01/09/2011 au 31/08/2012 dans l'Unité Epidémiologie de l'Anses-Lyon (Deschamps, 2012). Un éleveur ayant annulé les rendez-vous pris plusieurs fois, et trois éleveurs n'ayant déclaré aucune mort au cours de l'année, seules 36 bilans ont finalement été testés.

4.5.1 Conception des bilans

La conception des bilans a été axée autour de plusieurs objectifs :

- apporter aux éleveurs des informations synthétiques concernant la mortalité de leurs animaux auxquelles ils n'ont pas accès en temps normal ;
- mettre l'accent sur des informations permettant aux éleveurs d'intervenir pour améliorer la gestion du troupeau ;
- leur fournir des éléments de comparaison pour qu'ils se situent par rapport à un groupe d'élevages similaires ;
- s'adapter au faible temps que les éleveurs peuvent consacrer à la lecture de documents dans leur exploitation par la concision et la clarté des fiches de retour d'informations (une feuille recto verso).

Un exemple de bilan sur la mortalité bovine pour un élevage savoyard est présenté en Annexe.

La première partie correspondait à un descriptif de la mortalité dans l'exploitation avec une attention particulière portée sur la mortalité des veaux de moins de sept jours, classe d'âge la plus à risque. Un tableau présentait le nombre d'animaux présents dans l'exploitation et le nombre de morts par catégorie d'âge pour l'année 2011 ainsi que sur une période de dix ans (2001-2011). Un graphique représentait, sur la même période, l'évolution du nombre de naissances et la proportion de veaux morts avant sept jours dans l'exploitation et dans le département en distinguant les mâles des femelles. Enfin, un dernier tableau permettait de comparer la proportion de veaux morts avant deux jours et avant sept jours dans l'exploitation et dans un groupe d'exploitations comparables (même nombre de naissance à 10% près) en distinguant les mâles des femelles. La distinction entre veaux morts avant deux jours et ceux morts avant sept jours avait pour but de distinguer les problèmes au vêlage des problèmes de gestion d'exploitation (environnement, colostrum, etc.).

Dans la seconde partie, des graphiques représentant la distribution des exploitations du département selon le risque de mortalité (moyen sur les cinq dernières années) pour chaque catégorie d'âge de bovin étaient proposés. La position de l'exploitation dans cette distribution était signalée, ce qui permettait de détecter visuellement les catégories d'âge pour lesquelles l'exploitation présentait une mortalité supérieure aux autres exploitations du département. Un dernier graphique représentait la distribution des indices comparatifs de mortalité calculés pour chaque exploitation du département et la position de l'exploitation considérée pour que l'éleveur puisse se situer. L'indice comparatif de mortalité a été calculé

en appliquant les taux de mortalité départementaux (par classe d'âge et type de production) à la population bovine de chaque exploitation pour déterminer un nombre de morts attendus dans l'exploitation en fonction de la composition de son cheptel (âge et type de production des animaux).

4.5.2 Résultats d'évaluation

En moyenne, les éleveurs ont attribué à la fiche qui leur a été présentée une note de 3,6 sur 5 [2 ; 5] (où 1 représente une fiche sans intérêt et 5 une fiche très intéressante). Trente éleveurs (83 %) sur les 36 ont trouvé la fiche globalement compréhensible, 32 (89 %) ont trouvé que la forme était adaptée et tous ont trouvé que les informations qu'elle contenait étaient globalement cohérentes avec ce qu'ils observaient dans leurs exploitations.

Lorsque la question de ce qu'il manque à la fiche leur était posée, onze éleveurs (31 %) ont spontanément proposé de rajouter les causes de mortalité. Selon-eux, celles-ci pourraient être inscrites par l'éleveur sur le passeport accompagnant l'animal à l'équarrissage, ou transmis via les registres en ligne (Vetélevage ou Isagri par exemple). Un éleveur a proposé de rajouter les veaux mort-nés dans les classes d'âge étudiées.

Trente-deux des 36 éleveurs (89 %) aimeraient recevoir ce type de document une fois par an. Deux préféreraient un envoi plus fréquent (semestriellement ou trimestriellement) et deux, un envoi biennal. Deux éleveurs préférant un envoi annuel aimeraient pouvoir recevoir ce document sur demande en cas de besoin.

Vingt-quatre des 36 éleveurs (67 %) souhaiteraient conserver la forme papier du document, cinq (14 %) préféreraient une forme dématérialisée (mail ou consultation en ligne) et sept (19 %) n'ont pas émis de préférence.

La quasi-totalité des éleveurs a eu besoin d'explications de la part de l'enquêteur pour comprendre la fiche. La quantité et la complexité des informations a dissuadé certains éleveurs de chercher à comprendre par eux-mêmes. Devant ce constat, certains ont émis l'idée que ces fiches pourraient être utilisées et expliquées lors du BSE ou de la VSB par leur vétérinaire.

Des éleveurs ont soumis l'idée que le groupe de comparaison qui figure dans la fiche (les exploitations du département de même type de production) devrait être un groupe d'exploitations comparable en termes de production, de taille et d'habitude de travail (période de vêlage, proportion de l'exploitation dans le chiffre d'affaire de l'exploitation, etc.) afin que la comparaison ait plus de sens.

Parmi les remarques spontanées des éleveurs après la présentation du document, nous avons pu distinguer des points faibles et des points forts. Les points faibles étaient la complexité et la densité des informations (33 %), l'existence de certaines données déjà disponibles dans l'exploitation (5 %), le manque de lisibilité des graphiques (3 %) et la redondance de certaines parties (3 %). Les points forts étaient la présence de textes explicatifs (8 %) et l'apport d'informations indisponibles jusqu'à présent (5 %).

Le Tableau 10 indique pour chaque partie de la fiche le nombre d'éleveurs ayant trouvé cette partie claire, intéressante ou cohérente, et synthétise les remarques faites spontanément par les éleveurs.

Tableau 10 : Synthèse des remarques spontanément émises par les éleveurs pour chaque partie de la fiche

Partie de la fiche	Clair n (%)	Intéressant n (%)	Cohérent n (%)	Remarques
Données générales	36 (100)	31 (86)	35 (97)	<ul style="list-style-type: none"> - Informations déjà accessibles en exploitation (bilan annuel du GDS ou registre informatisé). - Le taux de mortalité brut incluant toutes les classes d'âge n'a pas vraiment de sens. - Bonne synthèse qui donne une idée de la réalité.
Evolution sur 10 ans	33 (92)	34 (94)	36 (100)	<ul style="list-style-type: none"> - Trop de classes d'âge. - L'évolution apporte un vrai plus par rapport aux informations disponibles dans l'exploitation. - Revoir les couleurs qui rendent la lecture difficile. - La mortalité des veaux pourrait être corrélée au cours des viandes.
Evolution sur 10 ans mortalité des veaux de moins de 7 jours	25 (69)	25 (69)	32 (89)	<ul style="list-style-type: none"> - Un seuil à 15 ou 30 jours aurait été plus pertinent qu'un seuil à 7 jours. - Difficulté de lecture avec les légendes de part et d'autres ; taille du graphique trop petite. - Le graphique du département n'apporte pas grand-chose. - La différenciation mâle/femelle n'apporte pas grand-chose. - Les valeurs en proportion sont à relativiser dans les petits effectifs. - Les veaux croisés ne sont pas pris en compte dans les fiches pour les éleveurs laitiers ce qui fausse les résultats
Comparaison mortalité des veaux avant 2 et 7 jours	34 (94)	32 (89)	31 (86)	<ul style="list-style-type: none"> - Biais de déclaration des mort-nés (non déclaration ou décalage dans le temps). - Seuil à 15 ou 30 jours plutôt que 7 jours. - Préféreraient des données agrégées sur une année au lieu de cinq. - Un peu redondant avec le graphique précédent. - Peu d'intérêt à séparer mâles et femelles. - La comparaison au groupe est un point positif.
Risque de mortalité par classe d'âge	23 (64)	26(72)	35 (97)	<ul style="list-style-type: none"> - Explications supplémentaires indispensables. - La comparaison est bien parlante. - Le groupe de comparaison du tableau précédent serait plus pertinent. - Fait bien ressortir les problèmes. - Une barre pourrait être placée sur la moyenne ou la médiane du groupe. - Les classes d'âges sont à re-réfléchir (proposition : <15j, 15j à 6 mois, 6 mois à 2 ans, >2 ans) pour mieux coller à la réalité de terrain d'un point de vue gestion des animaux. - La légende est mal située, elle ne se voit pas.
Score global de mortalité	30 (83)	28 (78)	35 (97)	<ul style="list-style-type: none"> - Le classement par rang des exploitations est un peu scolaire et ne passe pas très bien avec certains éleveurs. - Complicé de premier abord. - Le groupe de comparaison devrait être le même que figure 4. - Fait doublon avec la figure précédente. - « Tout âge confondu » fait qu'on ne peut pas en tirer grand-chose pour modifier les pratiques. - Le texte explicatif est un point positif qui rend cette partie facilement abordable. - Le fait de pouvoir se situer a été apprécié.

4.5.3 Discussion

Les éleveurs ont en majorité trouvé les fiches de retour d'informations intéressantes même si dans la plupart des cas ils ont eu besoin d'explications complémentaires pour bien comprendre l'ensemble des informations fournies. Ils ont particulièrement apprécié d'y trouver des informations inaccessibles jusqu'à présent et d'autres présentées sous forme agrégée les rendant plus facilement exploitables. Quelques modifications de forme ont été suggérées pour augmenter la lisibilité et l'attractivité de ces fiches.

Malgré une informatisation croissante des exploitations associée à une augmentation de l'accès à internet dans les exploitations (Hollecker, 2010), les éleveurs restent attachés à une version papier de ce type de document. En effet, pour certains, c'est un support indispensable pour pouvoir communiquer entre associés d'une même structure. Cependant, le coût de l'impression et de l'envoi de ces documents rendrait certainement impossible une transmission en version papier à l'ensemble des éleveurs de France, sauf à envisager une délégation de cette tâche à des organisations professionnelles. Cette solution poserait en revanche un problème de confidentialité des données et, autre inconvénient majeur, seuls les éleveurs adhérents à ces organisations y auraient accès.

La fréquence d'envoi la plus adaptée aux attentes des éleveurs semble être annuelle. Cependant, les exploitations qui ont été visitées avaient des tailles de troupeau et des types de production assez similaires. Nous pouvons imaginer que des exploitations de taille plus importante préféreraient une fréquence d'envoi plus soutenue (trimestrielle, voire mensuelle). Pour pouvoir satisfaire le plus grand nombre et en raison de l'automatisation possible de ce genre de fiche, l'idéal serait que l'éleveur puisse choisir la fréquence d'envoi de ces informations, voir éditer et consulter directement ces synthèses lorsqu'il le souhaite. Ceci serait possible en donnant aux éleveurs l'accès aux données les concernant et contenues dans une base de données centralisée, par exemple avec un identifiant unique sur le même principe que le système de registre en ligne centralisé finlandais Naseva¹ (Ruoho et al., 2010).

Lorsque cela était possible, les éleveurs ont apprécié de pouvoir se comparer à d'autres exploitations. Les valeurs proposées dans la fiche étaient comparées selon les cas à l'ensemble des élevages du département, ou à un groupe d'exploitations comparable (même nombre de naissance à 10 % près et même production). Parmi ces possibilités de comparaison, les éleveurs ont trouvé plus pertinent d'être comparés à un groupe restreint d'exploitations comparables, donnant plus de sens à la comparaison.

Certaines informations de la fiche étaient présentées sous forme agrégée sur cinq années. Des éleveurs ont émis le souhait que ne soient représentées que les informations de l'année écoulée. Cependant, l'intérêt de présenter ces données sur les cinq dernières années est de pouvoir lisser les variations annuelles qui existent dans toutes les exploitations et ainsi mieux refléter les problèmes liés à des pratiques d'élevage. Il nous semble donc pertinent de maintenir cette forme agrégée sur les cinq dernières années. Deux types de fiches pourraient être envisagés : une version simplifiée ne reprenant que les données agrégées sur l'année passée et une autre plus complète reprenant des données agrégées sur plusieurs années à destination des éleveurs intéressés et des vétérinaires des exploitations.

¹ Système volontaire de registre d'élevage centralisé auquel peuvent accéder les éleveurs, les vétérinaires et les services vétérinaires. L'ensemble des données sanitaires de l'élevage sont ainsi regroupées dans une même base de données (données de production, saisies en abattoir, compte rendu des visites vétérinaires).

Certains éleveurs ont suggéré de décrire la mortalité selon des catégories d'âge qui correspondent mieux à leurs pratiques d'élevage. Les éleveurs auraient notamment préféré une catégorie des veaux de moins de 15 jours plutôt qu'une catégorie limitée aux veaux de moins de sept jours. En effet, pour eux, les problèmes sanitaires avant et après quinze jours de vie ne sont pas les mêmes. Cependant, les veaux de moins de sept jours représentent la catégorie où les effectifs sont déjà les plus importants. De plus, cette catégorie représente à la fois les veaux morts lors de leur première année de vie mais aussi l'ensemble des veaux mort-nés par exemple suite à une dystocie, mortalité qu'il semble important de distinguer des morts de veaux au delà de quinze jours, principalement dues à des diarrhées et problèmes respiratoires (cf. paragraphe 5).

Toutefois, en réaction aux proportions de morts avant deux jours et sept jours présentées dans le document, les éleveurs ont indiqué qu'il pouvait exister un biais lié aux délais de déclaration de mort chez les veaux qui pourrait fausser la distinction faite entre les deux catégories. Cependant, si la déclaration était faite correctement, la distinction des morts avant deux jours et des morts avant sept jours permettrait de cibler des problèmes plutôt liés au vêlage d'un côté de problèmes de gestion (environnement, colostrum, etc.) de l'autre. Ainsi un retour d'informations aux éleveurs pourrait les inciter à une meilleure notification des mortalités des veaux.

Les éleveurs n'ont pas jugé intéressant de faire la distinction entre mâles et femelles chez les veaux de moins de sept jours. En effet, même si dans les faits la mortalité chez les veaux mâles est plus fréquente que chez les veaux femelles, la majorité des éleveurs consultés n'avaient pas de pratiques d'élevage différentes justifiant de s'y intéresser. L'intégration de cette information pour modifier une pratique n'était donc pas possible, d'autant que les éleveurs ne choisissent pas le sexe des animaux qui naissent (sauf sexage ou transfert d'embryon).

Parmi les propositions des éleveurs concernant des informations à ajouter à la fiche, mentionner les causes de mortalité des animaux est celle qui a le plus fréquemment été citée. A l'heure actuelle, cette donnée n'est pas disponible de manière centralisée. Certains éleveurs ont proposé que cette information puisse être transmise sur le passeport des animaux morts et enregistrée à l'équarrissage ou être transmise au moment de la notification de la mort à l'établissement départemental en charge de l'identification. Cela nécessiterait l'élaboration d'une liste fermée des causes de mortalité.

4.5.4 Conclusion

Les éleveurs ont globalement apprécié les données présentées dans ces bilans et ont fait de nombreuses propositions qui pourraient permettre de les améliorer et de les rendre plus utiles à leurs pratiques quotidiennes. Ces bilans ont été d'autant plus appréciés des éleveurs que la notification des mouvements de bovins est une tâche qui leur prend beaucoup temps, mais pour laquelle ils disposent de peu de retours d'information.

Un modèle de bilan et une méthode pour les édités simplement ont été proposés, mais leur production et diffusion généralisée et régulière nécessitera préalablement une concertation large des intervenants (cf. Chapitre 4).

5 Causes de mortalité : classification et description

Les systèmes d'information existant en France collectent des données démographiques sur les morts de bovins (sexe, âge, race) ainsi que sur le lieu et l'exploitation de mort, mais ils ne collectent aucun renseignement sur les causes de mort, malgré tout l'intérêt que cette information aurait d'un point de vue zootechnique et sanitaire. Nous avons donc tenté d'identifier les principales causes de mortalité chez les bovins par d'autres moyens, et d'évaluer l'intérêt de ces informations pour la surveillance épidémiologique du cheptel bovin.

Une partie de ce travail a été conduit dans le cadre d'une thèse d'exercice vétérinaire (Boissard, 2011) que nous avons encadrée et qui s'est réalisée du 01/07/2010 au 31/08/2011 au sein de l'Unité Epidémiologie de l'Anses-Lyon. Cette thèse a été soutenue publiquement le 21 décembre 2011 et a été validée avec la mention très honorable et une proposition au prix de thèse.

5.1 Etude bibliographique

De nombreuses publications traitent de la mortalité bovine, mais le plus souvent de manière indirecte (en décrivant par exemple la mortalité due à une pathologie particulière qui est le véritable objet de l'étude). Les travaux dédiés à l'identification et la description des causes de mort ordinaires dans la population bovine sont moins fréquents. Après avoir présenté les résultats de certaines études publiées dans la littérature scientifique, nous discuterons des difficultés à établir des résultats synthétiques au vu de la multiplicité des méthodes de classification employées par les auteurs qui rendent leurs résultats difficilement comparables.

5.1.1 Mortalité proportionnelle

L'un des outils disponibles pour décrire les causes de mortalité est la mortalité proportionnelle.

La mortalité proportionnelle est un indicateur utilisé pour apprécier la répartition de l'ensemble des morts entre les différentes causes principales, en l'absence de données concernant l'ensemble de la population (Jougla, 1997). Elle correspond à l'effectif des décès dus à une cause donnée rapporté au total des décès toutes causes et est aussi appelée le rapport proportionnel de mortalité (Proportional Mortality Ratio) ou RPM.

La mortalité proportionnelle est un indicateur simple pouvant permettre aux gestionnaires de faire des choix et de fixer les priorités dans leurs programmes de santé. Toutefois, la comparaison des mortalités proportionnelles entre différentes populations pour une cause donnée présente plusieurs difficultés. En effet, l'interprétation d'une valeur de mortalité proportionnelle élevée peut être équivoque dès lors que le niveau de la mortalité toutes causes confondues n'est pas similaire : par exemple une population A peut avoir un indice de mortalité proportionnelle supérieur à la population B pour une cause et en réalité avoir un niveau de mortalité inférieur pour cette cause, si son taux de mortalité global est plus faible.

5.1.2 Les causes de mortalité néonatale

Nous avons vu précédemment qu'entre 2003 et 2009 en France, la proportion de veaux morts nés, c'est à dire mourant avant 48h, était de 5,2% sur les 55 727 233 naissances notifiées.

Un grand nombre de ces morts de veaux est probablement dû aux conditions de vêlage : selon plusieurs auteurs, près d'une mort néonatale sur deux serait attribuable à un vêlage dystocique (Berglund et al., 2003; Jegou, 2006; Szücs et al., 2009). Les facteurs de risques de dystocie sont multiples et liés à la mère (âge, parité, race, taille du pelvis, état corporel au vêlage), au veau (sexe, poids, gémellité, position au vêlage) et au déroulement du vêlage (assistance, saison). Voir (Boissard, 2011) pour plus de détails sur les facteurs de risque de dystocie et de mort néonatale.

En absence de cause de mort bien identifiée, les morts néonatales sont souvent décrites d'un point de vue anatomo-pathologique. Gundelach rapporte par exemple les principales lésions observées lors de l'autopsie de 47 veaux morts nés (Gundelach et al., 2009) : atélectasie foetale (88,4%), aspiration de liquide amniotique (79,1%), œdème cérébral (32,6%), saignement du thymus (32,6%), fractures des côtes ou des vertèbres (20,9%), saignement du thorax (13,6%) et hémorragies cérébrales (11,6%).

Au Canada, une équipe s'est basée sur des commémoratifs, des résultats d'autopsie et d'histologie réalisé sur 560 veaux morts nés pour définir 17 diagnostics de mort dont les plus fréquents étaient (Waldner et al., 2010) : dystocie (40,2%), cause inconnue (21,6%), lésions de la thyroïde (8,9%), myopathies et nécroses du myocarde (7,1%), anomalies de développement (4,3%) et à moins de 3% hémosidéroses hépatiques, cardiopathies, pneumonies, traumatismes, traumatismes...

Une équipe suédoise a, quant à elle, décrit les causes de mort de 76 veaux mort-nés en distinguant six causes (Berglund et al., 2003) : mort suite à un vêlage difficile (46,1%), mort intra-utérine (10,5%), mort de cause inconnue et sans anomalie clinique (31,6%), malformation (5,3%), infections non spécifiques (2,6%) et mort impossible à classer (3,9%).

5.1.3 Les causes de mortalité post-natale

Tous les auteurs s'accordent sur le fait que les deux principales causes de mort rapportées chez les jeunes veaux sont les diarrhées et les pneumonies (Gardner et al., 1990; Jegou, 2006; Svensson et al., 2006; Gulliksen et al., 2009; USDA, 2010; Torsein et al., 2011), tandis que les autres causes (météorisations, désordres digestifs, traumatismes) jouent un rôle moindre. Ces causes peuvent par ailleurs être combinées (Tableau 11).

L'importance relative des deux causes varie selon l'âge des animaux. Les entérites représentaient la cause de mortalité des veaux la plus fréquente à moins d'un mois alors que la pneumonie dominait au delà chez les génisses jusqu'à leur premier vêlage (Svensson et al., 2006).

Une proportion importante de morts postnatales est par ailleurs attribuable à un vêlage dystocique, même au delà de plusieurs mois (Bleul, 2011).

Tableau 11 : Répartition de la mortalité pour 17 exploitations à faible taux de mortalité (groupe T) et 63 exploitations à fort taux de mortalité (groupe C) (en italique, la fréquence de la cause en %) (Jegou, 2006)

	Groupe T (17 élevages)	Groupe C (63 élevages)
Taux de mortalité moyen (%)	2,3	26,6
Vêlage	64 (1,4)	39 (10,3)
Diarrhées	18 (0,4)	39 (10,3)
Vêlages et diarrhées	6 (0,1)	11 (2,9)
Problèmes respiratoires	0 (0)	5 (1,3)
Diarrhées et problèmes respiratoires	0 (0)	2 (0,5)
Malformations	6 (0,1)	2 (0,5)
Autre	6 (0,1)	2 (0,5)

5.1.4 Les causes de mortalité des bovins adultes

Comme pour les veaux, les catégories choisies par les auteurs pour décrire les causes de mort des bovins adultes varient d'une étude à l'autre, mais certaines d'entre elles sont retrouvées de manière pratiquement systématique.

Une enquête téléphonique menée pendant deux mois auprès d'éleveurs danois sur la mort de 196 vaches (dont 58,2% avaient été euthanasiées) a permis de décrire les causes principales de mort selon neuf catégories (Thomsen et al., 2004). Les troubles locomoteurs représentaient la cause la plus fréquente d'euthanasie (40% des cas), alors que des troubles d'origine inconnue étaient la plupart du temps à l'origine des morts non assistées (Tableau 12). Mammite colibacillaire et fièvre de lait représentaient les pathologies les plus fréquentes respectivement dans le groupe des troubles liés à la mamelle et celui des troubles métaboliques.

Tableau 12: Causes principales de morts naturelles et par euthanasie des vaches laitières déclarées par les propriétaires de 196 vaches lors d'une enquête téléphonique (Thomsen et al., 2004)

Raison primaire	Morts non assistées (% de n=82)	Morts par euthanasie (% de n=114)	Morts totales (% de n=96)
Accident	5	12	17
Mort liée au vêlage	10	7	17
Troubles digestifs	17	11	28
Troubles locomoteurs	2	40	42
Troubles métaboliques	15	8	23
Troubles de la mamelle	11	8	19
Autres causes	12	10	22
Cause inconnue	28	4	32

Les mêmes auteurs ont établi les causes de mort chez 3 115 vaches euthanasiées ou mortes naturellement à partir de la base de données danoise (Thomsen and Sorensen, 2009). Dans cette étude comme dans la précédente, les troubles locomoteurs représentaient la première cause d'euthanasie. En revanche les désordres métaboliques et digestifs représentaient une cause de mort naturelle plus fréquente que les causes inconnues (Tableau 13). Il faut toutefois noter que lors de cette seconde étude, les auteurs ont omis de considérer les troubles liés au vêlage en tant que catégorie propre, comme ils l'avaient pourtant fait pour leur première étude. Ces morts sont probablement réparties dans les catégories « autres », « accidents », « troubles métaboliques » ou « troubles locomoteurs », et en modifient d'autant l'importance relative.

Tableau 13 : Causes primaires de mort naturelles et par euthanasie déclarées par les propriétaires de 3 115 vaches issues de 2 815 exploitations danoises enregistrées dans la Danish Cattle Database (Thomsen and Sorensen, 2009)

Raison primaire	Morts non assistées (% de n=3115)	Morts par euthanasie (% de n=787)	Morts totales (% de n=2328)
Accident	13,9	20,3	15,5
Troubles locomoteurs	12,2	22,4	14,8
Troubles métaboliques et digestifs	25,4	21,2	24,3
Mammites	7,5	5,2	6,9
Autres causes	23,9	22,5	23,6
Cause inconnue	17,1	8,4	14,9

Dans une étude menée en France sur des vaches laitières (Faye and Pérochon, 1995), la cause majeure de mort, euthanasies et morts naturelles confondues, après les « causes inconnues » (33% des morts totales) et les « autres causes » (20%), était le groupe des maladies métaboliques (18%), comme dans les deux précédentes études. Les troubles métaboliques étaient suivis des troubles relatifs au vêlage (12%) et des accidents (8%). Ces auteurs ont par ailleurs décrit la fréquence des troubles associés aux morts par euthanasie, plusieurs troubles pouvant être observés sur chaque individu (Tableau 14).

Tableau 14 : Fréquence des troubles observés parmi les 73 vaches laitières mortes ou réformées en Bretagne (Faye and Pérochon, 1995)

Maladies	Morts par euthanasie (% de n=73)
Troubles traumatiques	6,8
Troubles digestifs	13,6
Mauvais état général	13,6
Traumatisme de la mamelle	3,9
Mammites	21,9
Troubles nutritionnels	4,1
Troubles podaux	9,5
Troubles de la reproduction	27,2
Troubles du vêlage	16,4
Autres maladies	30,1

Enfin, un auteur irlandais rapporte des causes similaires à celles précédemment observées avec encore une fois des importances relatives différentes (Menziés et al., 1995) : mort liée au vêlage (31% des causes de mort), suivie des mammites (25%), des autres causes (15%), des troubles digestifs (13%) et des troubles locomoteurs (11%).

Les importantes variations dans la répartition des causes de mort peuvent être expliquées par la population étudiée (bien que toutes les études évoquées se rapportent à des vaches laitières) mais aussi au contexte dans lequel a été réalisé l'étude. Ainsi, dans une étude britannique menée au Royaume-Uni en 1997 (Esslemont and Kossaibati, 1997), la principale cause de mort hors cause inconnue (46% des cas) était l'ESB (12%), suivie des mammites (9%), d'autres troubles non-infectieux (8%), des désordres métaboliques (8%) et des accidents (7%). Les résultats rapportés dépendent aussi fortement de l'intérêt de l'auteur. Milian-Suazo rapporte par exemple 22% des morts causées par des maladies de la mamelle et 65% d'autres causes (Milian-Suazo et al., 1989).

Des études, moins fréquentes, décrivent les causes de mortalité des bovins adultes d'un point de vue anatomo-pathologique. Une étude canadienne basée sur des analyses post mortem a permis de déterminer une cause de mort pour 70 % (128) de 184 cadavres de bovins examinés (Waldner et al., 2009). La réticulo-péritonite traumatique était la cause principale de mort, devant les tumeurs malignes et les blessures attribuables à la mise-bas

(Tableau 15). Avec le tympanisme du rumen, les myopathies et les pneumonies, ces causes représentaient 56 % des morts expliquées. Vingt-trois autres causes de mortalité correspondaient aux 56 morts expliquées restantes.

Tableau 15 : Principales causes de morts de bovins identifiées parmi 184 cas (euthanasies et morts naturelles confondues) au Canada (Waldner et al., 2009)

Diagnostic de la cause de mort immédiate	Proportion sur les 184 causes de morts expliquées (nombre)
Réticulo-péritonite traumatique	8(15)
Néoplasie maligne	7(13)
Blessures liées au vêlage	7(12)
Tympanie du rumen	6(11)
Myopathie	6(11)
Pneumonie	6(10)
Autres causes connues	30 (56)
Causes inconnues	30 (56)

Les facteurs de risque influençant la mortalité des adultes ont été longuement étudiés. Le type de production et de logement, les facteurs génétiques, le nombre de gestations, la gémeilité, le parasitisme, les différentes maladies, les saisons, la température et la conduite de troupeau (surveillance des vêlages) sont autant de facteurs que les auteurs ont tenté de relier au risque de mortalité. Voir (Boissard, 2011) pour une description plus détaillée des facteurs de risque de mortalité des bovins adultes.

5.1.5 Une synthèse des résultats difficile

Toute tentative d'établir une synthèse des connaissances sur les causes de mortalité bovine se heurte à la variabilité de la définition adoptée pour les causes de mort et leur classification, différentes d'un auteur à l'autre. Contrairement à la santé humaine où des définitions et des outils de classification ont été établis (cf. paragraphe 2.3), il n'existe pas d'approche standardisée communément appliquée en santé animale. Ainsi, les causes de mortalité bovine rapportées dans la littérature scientifique diffèrent par la nature de la cause identifiée (cause initiale ou immédiate) et par l'axe de classification choisi (étiologie, pathologie, circonstances de mort, ...). Certaines classifications mêlent des catégories qui se recouvrent. Par exemple, certaines études présentées considèrent à la fois des catégories assimilables à des circonstances (ex. accidents ou vêlage) et des catégories correspondantes à des manifestations cliniques (troubles locomoteurs, troubles métaboliques) alors que certaines manifestations cliniques peuvent être liées aux circonstances décrites dans d'autres groupes (ex. troubles locomoteurs dus à un accident, troubles métaboliques liés au vêlage). Si le recouvrement entre certaines catégories est inévitable, l'absence de précision sur les choix de priorisation qui ont été faits rend les comparaisons difficiles.

De plus, ces études diffèrent beaucoup au niveau du degré de certitude des diagnostics proposés : certains auteurs se basent par exemple sur l'accord de deux ou trois vétérinaires pour valider un diagnostic (Wymann, 2006), tandis que d'autres se basent sur une autopsie (Berglund, 2003), une analyse histologique et bactériologique des prélèvements (Gulliksen, 2009, Waldner, 2010), ou encore sur les dires d'éleveurs (Jegou, 2006). Même en employant une méthode de classification similaire, le degré de certitude du diagnostic influencera l'importance relative des causes de mort décrites. Par exemple si la qualité du diagnostic est augmentée, l'importance de la catégorie « cause inconnue » diminuera (qui varie selon les

études présentées de 14 à 46%) ce qui augmentera d'autant l'importance relative de certaines autres causes.

En conséquence, il est difficile de tirer des conclusions quantitatives sur l'importance relative des différentes causes de mortalité bovine décrites dans la littérature.

D'un point de vue qualitatif, ces études convergent toutefois sur certaines observations. Les différents résultats sont notamment cohérents en ce qui concerne l'importance des vèlages dystociques comme cause de mort néonatale, et des entérites et des pneumonies comme principales causes de mort chez les veaux au-delà de 48 heures de vie. Chez les adultes, la plupart des études rapportent les troubles métaboliques, locomoteurs et reproducteurs (notamment ceux liés au vèlage) ainsi que les accidents comme principales causes de mort. Toutefois leur classement en termes d'importance varie entre les études. Ainsi, si l'on omet les causes inconnues et la catégorie d'autres causes, les six études présentées, menées sur des populations comparables (vaches laitières adultes) identifient chacune une cause principale différente : troubles locomoteurs (Thomsen et al., 2004), troubles métaboliques (Thomsen and Sorensen, 2009), troubles reproducteurs hors vèlage (Faye and Pérochon, 1995), vèlage (Menziés et al., 1995), ESB (Esslemont and Kossaibati, 1997) et réticulo-péritonite traumatique (Waldner et al., 2009).

L'importance de la proportion de morts non élucidées dans ces études reflète la difficulté d'aboutir au diagnostic en médecine vétérinaire.

L'importance des catégories « autres » dans les six études (oscillant entre 20 et 30% des morts totales étudiées) montre par ailleurs la difficulté de classer les causes de mort même lorsque celle-ci sont connues. La description des causes de mort en santé animale pourrait probablement être améliorée si celle-ci se basait sur des méthodes de classification plus élaborées, comme c'est le cas en santé humaine.

5.1.6 Nomenclatures existantes

La classification des maladies et des causes de mortalité est une problématique ancienne. William Farr (1807-1883) et Jacques Bertillon (1851-1922) sont à l'origine des premières tentatives de classification, au dix-neuvième siècle. Depuis, de nombreux groupes de travail se sont réunis, d'abord nationaux puis sous l'égide de l'OMS, afin de proposer des révisions de ces classifications, dont certains principes de base ont toutefois été maintenus au cours des années malgré certaines divergences.

Aujourd'hui les dispositifs mis en place en santé humaine permettent de collecter de manière très standardisée des informations sur les causes de décès.

5.1.6.1 Définition de la cause de mort

Avant de classer une mort selon sa cause, il est nécessaire de définir ce qu'est une cause de mort. L'OMS a donné en 1967 la définition suivante de la cause de décès : « toutes maladies, états morbides ou traumatismes qui résultent ou contribuent au décès, et les circonstances de l'accident ou des violences qui ont produit ces traumatismes » (OMS, 2010). On distingue :

- la cause initiale de décès, définie par l'OMS comme a) la maladie ou le traumatisme qui a déclenché l'évolution morbide conduisant directement au décès, ou b) les circonstances de l'accident ou de la violence qui ont entraîné le traumatisme mortel ;

- la cause immédiate de décès (maladie terminale, traumatisme ou complication ayant directement entraîné la mort) ;
- le mode de décès (arrêt cardiaque, syncope, etc.).

Lors d'un décès humain, toute la séquence des événements morbides ayant conduit à la mort, de la cause immédiate à la cause initiale du décès est consignée dans le certificat médical de décès (Pavillon and Laurent, 2003). Les médecins rapportent en plus les éventuels états morbides, facteurs ou états physiologiques ayant contribué au décès mais sans être directement à l'origine de la cause initiale (ex. état de grossesse, consommation d'alcool, de tabac ou d'autres substances). Les symptômes et les modes de décès ne sont eux pas inclus dans la définition médicale de la cause de décès.

La classification est ensuite établie à partir de la cause initiale du décès (croisée avec les autres informations), selon le système de classification international des maladies (CIM en français, ICD en anglais), l'ICD-10 (OMS, 2010).

5.1.6.2 Un exemple de classification mono-axiale : la CIM

La Classification internationale des maladies (CIM), est un système de classification des entités morbides produit par l'Organisation mondiale de la santé. La CIM a été conçue pour « *permettre l'analyse systématique, l'interprétation et la comparaison des données de mortalité et de morbidité recueillies dans différents pays ou régions à des époques différentes* » (OMS, 2010).

La CIM fait partie des classifications mono-axiales, c'est-à-dire qu'elle forme une hiérarchie de termes à partir d'une racine commune : l'ensemble des maladies est réparti en catégories ayant un caractère commun. Ce caractère peut être étiologique, faire référence à un appareil ou encore désigner le processus morbide en cause. Chaque catégorie est subdivisée en niveaux hiérarchisés aboutissant à un diagnostic précis. Les catégories de premier niveau sont les catégories principales, qui couvrent l'ensemble du domaine. Ainsi, un objet du domaine doit y trouver une place unique. Le découpage doit obéir à un critère qui s'applique à l'ensemble des éléments de la classe « mère » sachant que les critères se succèdent dans un ordre d'importance décroissante.

L'OMS est toujours en charge des révisions périodiques de la classification. La dernière révision, la dixième, date de 1995 et est désignée par le sigle CIM-10 ou ICD-10. La CIM-10 utilise un code hiérarchique (Tableau 16) mais cette classification ne permet pas de décrire des manifestations atypiques de maladies ou de coder des détails cliniques, elle ne comporte pas non plus de notions temporelle ou physiopathologique. Une modification clinique de la CIM-9 a été initiée aux Etats-Unis, elle proposait le choix entre une double classification basée sur l'étiologie (classification principale, avec une lettre marquée d'une croix) et une classification basée sur les manifestations (classification secondaire, avec une lettre suivie d'un astérisque), utilisable si la formulation diagnostique comporte à la fois une étiologie et des manifestations importantes.

Les objectifs de la dixième révision de la classification sont de permettre une utilisation plus globale, permettant de produire des statistiques à buts sociologiques et économiques, compliquant davantage la tâche. Les objectifs de cette classification étaient multiples, d'autres systèmes de classification à plusieurs axes ont été étudiés, afin d'améliorer la CIM, l'inconvénient principal de ces systèmes étant la difficulté à retrouver tous les termes et les maladies.

Tableau 16: Liste des chapitres de la classification internationale des maladies

Chapitre	Code	Titre
I	A00-B99	Certaines maladies infectieuses et parasitaires
II	C00-D48	Tumeurs
III	D50-D89	Maladies du sang et des organes hématopoïétiques et certains troubles du système immunitaire
IV	E00-E90	Maladies endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques
V	F00-F99	Troubles mentaux et du comportement
VI	G00-G99	Maladies du système nerveux
VII	H00-H59	Maladies de l'œil et de ses annexes
VIII	H60-H95	Maladies de l'oreille et de l'apophyse mastoïde
IX	I00-I99	Maladies de l'appareil circulatoire
X	J00-J99	Maladies de l'appareil respiratoire
XI	K00-K93	Maladies de l'appareil digestif
XII	L00-L99	Maladies de la peau et du tissu cellulaire sous-cutané
XIII	M00-M99	Maladies du système ostéo-articulaire, des muscles et du tissu conjonctif
XIV	N00-N99	Maladies de l'appareil génito-urinaire
XV	O00-O99	Grossesse, accouchement et puerpéralité
XVI	P00-P96	Certaines affections dont l'origine se situe dans la période périnatale
XVII	Q00-Q99	Malformations congénitales et anomalies chromosomiques
XVIII	R00-R99	Symptômes, signes et résultats anormaux d'examen cliniques et de laboratoire, non classés ailleurs
XIX	S00-T98	Lésions traumatiques, empoisonnements et certaines autres conséquences de causes externes
XX	V01-Y98	Causes externes de morbidité et de mortalité
XXI	Z00-Z99	Facteurs influant sur l'état de santé et motifs de recours aux services de santé
XXII	U00-U99	Codes d'utilisation particulière

Malgré toutes les révisions de la CIM, il est apparu que son utilisation pour classer les maladies dans les dossiers médicaux était toujours délicate, en raison de l'insuffisance persistante de précisions de différentes entités nosologiques. Ces carences ont engendré la production d'un certain nombre de *thesauri*, généralement élaborés par les sociétés savantes des diverses spécialités médicales. S'ils sont de qualité inégale, ceux d'entre eux qui respectent une certaine conformité avec la CIM d'une part et possèdent la qualité des informations nécessaires au Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI¹) d'autre part, ont pu recevoir l'aval du Pôle d'expertise et de référence nationale des nomenclatures de santé (PERNNS).

C'est dans ce contexte que la Systematized nomenclature of medicine – Nomenclature systématique de médecine (SNOMED) est apparue.

5.1.6.3 Un exemple de classification multi-axiale : SNOMED

SNOMED est une nomenclature multi-axiale couvrant tous les champs de la médecine humaine et vétérinaire. Elle permet de projeter les concepts médicaux selon plusieurs axes orthogonaux. Elle est composée de 650 000 codes, contenant plus de 50 000 termes médicaux organisés suivant onze axes dans la version actuelle. Les sept principaux axes de projection sont :

¹ Dispositif faisant partie de la réforme du système de santé français ayant pour but la réduction des inégalités de ressources entre les établissements de santé (ordonnance du 24/04/1996) sur la réforme de l'hospitalisation. Afin de mesurer l'activité et les ressources des établissements, il est nécessaire de disposer d'informations quantifiées et standardisées, le PMSI.

- T pour Topography, qui décrit les régions du corps, les organes ;
- M pour Morphology, qui présente les modifications de l'anatomie, des cellules et des organes ;
- E pour Etiology, qui regroupe toutes les causes des anomalies décrites : agent biologique, physique ou chimique ;
- F pour Function, qui décrit les termes de physiopathologie et les termes utilisés pour décrire les états et processus pathologiques ;
- D pour Disease, qui permet de décrire des combinaisons de symptômes devant être spécifiés simultanément (syndromes et maladies complexes) ;
- P pour Procedure, qui présente toutes les activités administratives, diagnostiques et thérapeutiques mises en œuvre lors de la prise en charge du patient ;
- O pour Occupation, qui est utilisé pour coder l'activité professionnelle du patient.

Les éléments de chaque axe sont organisés suivant une structure hiérarchique. A chaque concept est attribué un code, ce qui permet une description détaillée, limitant ainsi la perte d'information et conservant les relations sémantiques entre les différents concepts. L'avantage principal de ce système est la possibilité quasiment infinie de combiner des concepts médicaux, des causes et des effets. Ce système permet également le traitement automatisé de l'information. Son principal inconvénient réside dans la structure même de la nomenclature : le nombre de caractères nécessaires au codage est parfois important, cependant des outils actuels de codage automatique ont été créés pour pallier cet inconvénient. La SNOMED est donc un système de classification performant, mais qui n'est pas adapté aux pays en voie de développement.

5.1.7 Possibilités de collecte d'information sur les causes de mortalité en santé animale

Les deux exemples de classification présentés précédemment montrent la complexité de l'approche et la difficulté de mettre en place des dispositifs collectant de type d'informations au quotidien, comme cela est le cas en santé humaine. Ces exemples montrent par ailleurs que malgré leur complexité les systèmes de classification proposés ne sont pas exempts de limites. Des dispositifs similaires, coûteux et complexes, semblent difficilement envisageables en santé animale. Des informations sur les causes de mort communes des bovins peuvent toutefois être obtenues auprès des vétérinaires et des éleveurs, professionnels de terrain observateurs de ces morts.

Dans les deux paragraphes suivants, nous décrivons d'une part les causes de mort à partir des diagnostics proposés par des vétérinaires et d'autre part à dire d'éleveur avec un système de classification simplifié des causes de mort adaptés aux données disponibles et aux observateurs qui les ont produites.

5.2 Analyse des fiches d'information et de suivi de la mortalité

Après avoir effectué une synthèse bibliographique des causes de la mortalité bovine, nous avons poursuivi notre étude de cette problématique en analysant des données recueillies dans le cadre d'un programme pilote de surveillance active de l'ESB mené en 2000-2001.

Cette étude, réalisée dans le cadre de la thèse d'exercice vétérinaire précédemment évoquée (Boissard, 2011), a fait l'objet d'un article paru dans une revue de formation continue vétérinaire (Boissard et al., 2011).

5.2.1 Données

En 2000, suite à la crise de l'ESB, les éleveurs ont été tenus de déclarer à leur vétérinaire sanitaire la mort de tous les bovins âgés de plus de 24 mois. Chacune de ces morts donnait lieu à une « visite de mortalité » obligatoire, pendant laquelle le vétérinaire sanitaire devait renseigner un diagnostic sur une Fiche d'information et de suivi de la mortalité (FISM). Les cadavres étaient ensuite équarris après un prélèvement de tissu nerveux en vue du test de dépistage de l'ESB.

Les FISM n'ont pas été systématiquement saisies et centralisées. L'analyse a donc porté sur la seule collection de données électronique disponible, une base contenant toutes les FISM renseignées du 7 août 2000 au 16 mars 2001 dans trois régions du Grand Ouest (régions Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire), soit 47 210 entrées. Pour chaque bovin, la base contenait le numéro d'identification, le sexe, la race, la commune d'origine, le type de mort (naturelle ou euthanasie), la date de naissance, la date de mort, le syndrome ayant causé la mort, ainsi que le diagnostic sur la cause de mort établi par le vétérinaire.

5.2.2 Méthode de classification

Une première liste de causes de mortalité a été déterminée à partir de la littérature et des connaissances des auteurs en médecine vétérinaire. Un algorithme a ensuite été créé pour affecter l'une de ces causes de mort à chaque bovin enregistré dans la base à partir des termes, ou plus précisément des chaînes de caractères, saisis dans le champ « diagnostic ». Afin de simplifier l'interprétation des résultats, une seule cause de mort a été retenue par bovin. Lorsque les termes saisis pouvaient se rapporter à plusieurs causes, le choix était établi selon des règles de hiérarchisation prédéfinies.

Aucune instruction particulière ou liste de propositions n'avaient été données aux vétérinaires pour renseigner le diagnostic de la mort dans les FISM. Ils ont donc établi le diagnostic de façon libre et selon des critères variables. Certains ont renseigné des étiologies, d'autres des processus physiopathologiques, des lésions d'organes, des organes ou des appareils défaillants, des symptômes ou encore des circonstances ayant entouré la mort... Les catégories prioritairement attribuées par l'algorithme étaient celles correspondant à des étiologies bien identifiées (par exemple « paratuberculose », « fièvre de lait », « corps étranger », etc.). Dans un second temps, les morts restantes étaient classées selon des processus physiopathologiques moins spécifiques (ex. « problèmes cardiaques »). Lorsque le processus pathologique était décrit, la cause initiale était retenue. Par exemple, le diagnostic saisi « insuffisance cardio-respiratoire par corps étranger » a été affecté à la catégorie « corps étranger », considérant que le corps étranger était la cause initiale de la mort, la réticulo-péritonite la cause immédiate de mort, et l'insuffisance cardio-respiratoire

le mode de décès. Finalement les causes n'ayant pas été classées par les deux premiers essais étaient classées selon les tableaux cliniques décrits (par exemple « vache couchée », « péritonite », etc.). Les décisions n'ont pas toujours pu être prises selon des règles générales mais ont parfois résulté d'une analyse au cas par cas.

Les requêtes conçues pour identifier les causes de mort prenaient en compte des termes variés, adaptés à la richesse du vocabulaire médical, technique et vernaculaire employé par les vétérinaires pour décrire les causes de mort. Lorsque qu'une même maladie pouvait avoir plusieurs dénominations, tous les synonymes étaient pris en compte (exemple : *synonymie* entre « fièvre de lait » et « fièvre vitulaire »). Lorsque les mêmes expressions pouvaient désigner des entités différentes (« caillette » peut signifier « torsion de caillette », « ulcère de la caillette »...) le terme était attribué selon l'usage considéré le plus fréquent.

La classification a été réalisée de manière itérative en modifiant la définition des catégories, les termes recherchés et la priorité donnée à chaque cause selon la cohérence des résultats obtenus et les erreurs identifiées.

5.2.3 Principales causes de mort identifiées

Environ un quart (23%) des fiches n'avaient pas de diagnostic renseigné. Le nombre de morts notifiées et les taux de mortalité sont indiqués par catégorie et type de production dans le Tableau 17.

Il existe une différence statistiquement significative dans la répartition des différentes causes de mort selon le type de production (Figure 46). Si l'on omet la catégorie « autres causes » (qui regroupe des causes soit peu informatives, soit bien identifiées mais chacune en nombre insuffisant pour être représentées), les trois premières causes de mortalité rapportées dans les deux types de production sont les vèlages difficiles, les accidents et les syndromes entériques.

Dans le Tableau 17, les taux de mortalité ont été obtenus en rapportant le nombre de morts par cause à la population vivante correspondante. Dans la population étudiée, la différence globalement observée entre le taux de mortalité chez les bovins laitiers (30,6 pour 1 000 bovins-années) plus élevé que chez les bovins allaitants (22,55 pour 1 000 bovins-années) se retrouve pour presque chaque cause de mortalité identifiée (Figure 47). Seuls les taux associés aux causes « mauvais état général », « cause inconnue » et « syndromes entériques » sont supérieurs chez les bovins allaitants.

Tableau 17 : Nombre de morts notifiés et taux de mortalité par cause et type de production dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001

Causes de mort	Allaitants (Population moyenne sur la période : 1,2 millions d'animaux)		Laitiers (Population moyenne sur la période : 2,5 millions d'animaux)	
	Nombre de morts (%)	Taux de mortalité*	Nombre de morts (%)	Taux de mortalité*
Autres causes	2 303 (18)	4,06	5 703 (16,6)	5,08
Vêlage difficile	1 832 (14,3)	3,23	3 920 (11,4)	3,49
Accident	1 467 (11,5)	2,59	4 602 (13,4)	4,1
Syndrome entérique	1 020 (8)	1,8	2 004 (5,8)	1,78
Cause inconnue	992 (7,8)	1,75	1 517 (4,4)	1,35
Mauvais état général	522 (4,1)	0,92	984 (2,9)	0,88
Boiterie	338 (2,6)	0,6	1 413 (4,1)	1,26
Problème respiratoire	299 (2,3)	0,53	842 (2,4)	0,75
Corps étranger	241 (1,9)	0,43	816 (2,4)	0,73
Problème cardiaque	164 (1,3)	0,29	753 (2,2)	0,67
Occlusion, torsion digestive	143 (1,1)	0,25	1 368 (4)	1,22
Mammites	74 (0,6)	0,13	1 816 (5,3)	1,62
Fièvre de lait	40 (0,3)	0,07	1 251 (3,6)	1,11
Non renseignée	3 349 (26,2)	5,91	7 437 (21,6)	6,62
Totaux	12 784 (100)	22,55	34 426 (100)	30,6

* par 1 000 bovins-années

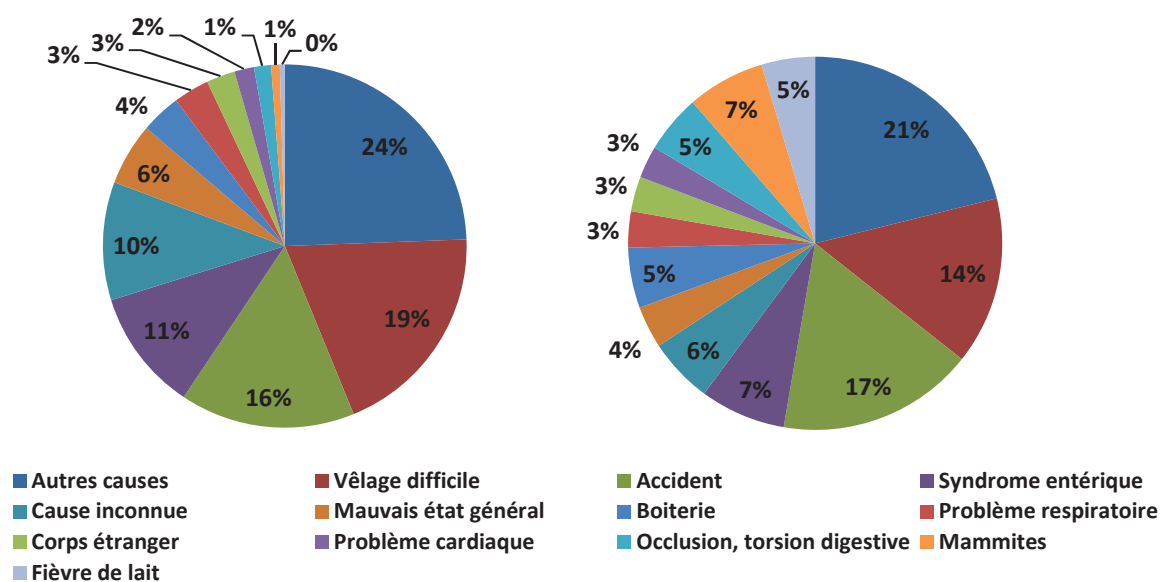


Figure 46 : Répartition des différentes causes de mort chez les bovins allaitants (à gauche) et laitiers (à droite) parmi les 36 424 morts renseignées dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001

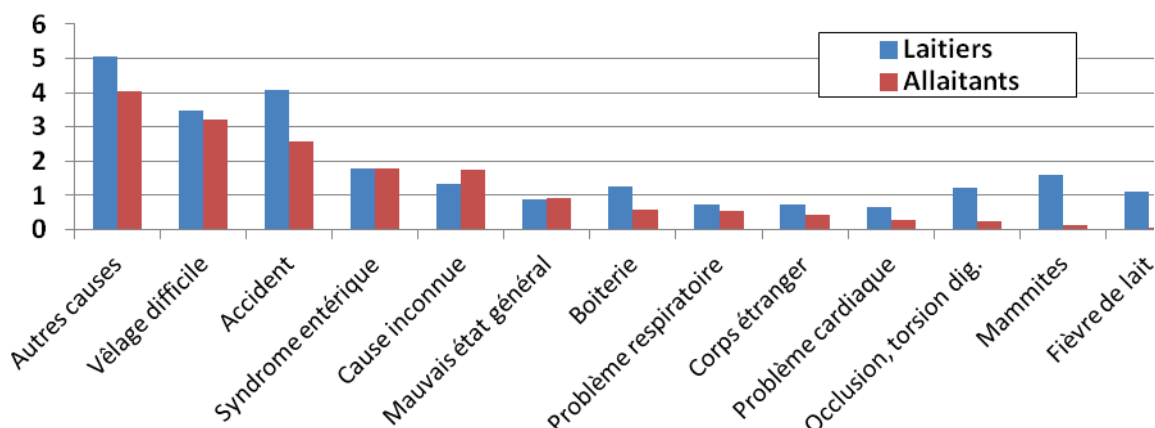


Figure 47 : Taux de mortalité moyen sur la période d'étude (par 1 000 bovins-années) par cause de mort en fonction du type de production dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001

Certains taux de mortalité plus élevés chez les bovins laitiers sont bien évidemment directement reliés au type de production des animaux. Ainsi les taux de mortalité par mammite et fièvre de lait sont respectivement de 1,62 et 1,11 pour 1 000 bovins - années chez les bovins laitiers contre 0,13 et 0,07 chez les bovins allaitants.

L'interprétation des différences entre les deux types de production, comme celles observées pour le taux de mortalité par accident ou suite à un vêlage difficile, est en revanche moins directe. Les catégories de causes de mort initialement définies ont été subdivisées en sous-groupes détaillés, pour aider à l'interprétation des résultats observés.

5.2.3.1 Les vêlages difficiles

Chez les vaches laitières, la première cause renseignée parmi les morts associées à un vêlage difficile est le trouble locomoteur post-partum, correspondant aux diagnostics de vache couchée après vêlage, hors fièvres de lait (Figure 48). Deux raisons peuvent être avancées : i) le nombre d'extractions forcées sur disproportion fœto-pelvienne est plus élevé chez les vaches laitières que chez les allaitantes, entraînant secondairement des difficultés locomotrices puis un décubitus, ii) le logement en logettes ou en stabulation entravée plus fréquent chez les laitières aggrave les conséquences d'un décubitus ou de difficultés locomotrices post-partum (d'origine métabolique ou autre). On peut également supposer que les vétérinaires sont plus habitués à pratiquer des césariennes que des extractions forcées en production allaitante. Cette pratique pourrait entraîner moins de lésions conduisant à un décubitus irréversible chez les vaches allaitantes que chez les vaches laitières. Cette remarque peut être corroborée par le fait que les morts dues aux césariennes sont une cause de mort plus fréquente chez les vaches allaitantes que chez les vaches laitières.

Chez les bovins allaitants, la première catégorie détaillée dans les vêlages difficiles correspond aux accidents matriciels (torsion, prolapsus). Les prédispositions raciales de certaines races allaitantes sont connues mais on peut également imaginer un défaut de suivi (vêlage sans assistance).

Le sous-groupe « non spécifié » (Figure 48) correspond aux morts de la catégorie « vêlage difficile » pour lesquels les vétérinaires n'ont pas apporté de précisions supplémentaires quant à la cause de la mort.

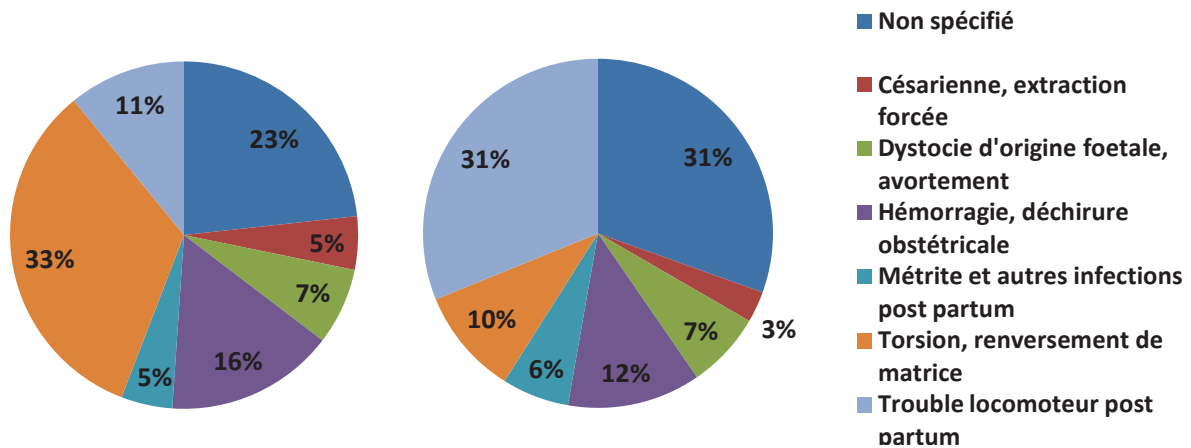


Figure 48 : Distribution des causes de morts dues à un vêlage difficile chez les vaches allaitantes (1 832 cas, à gauche) et chez les vaches laitières (3 920 cas, à droite) dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001

5.2.3.2 Les accidents

En absence de consignes précises, les vétérinaires ont indiqué dans le cas des accidents, tantôt les circonstances de l'accident (chute, piétinement, noyade, etc.), la nature du traumatisme (fracture, luxation, entorse etc.) ou sa topologie (fémur, jarret, bassin etc.). Parmi les cas où les circonstances de l'accident ont été précisées, 76% des morts accidentelles étaient associées aux installations des exploitations (glissades sur le béton, étranglements au cornadis, etc.), 14% étaient survenues au pré (chute, noyade, fulguration etc.) et 10% lors de transports.

5.2.3.3 Les syndromes entériques

Parmi les morts associées à un syndrome entérique, le sous-groupe « entérotoxémie » est le plus important chez les bovins allaitants (38%) et représente presque un tiers des cas chez les bovins laitiers (Figure 49).

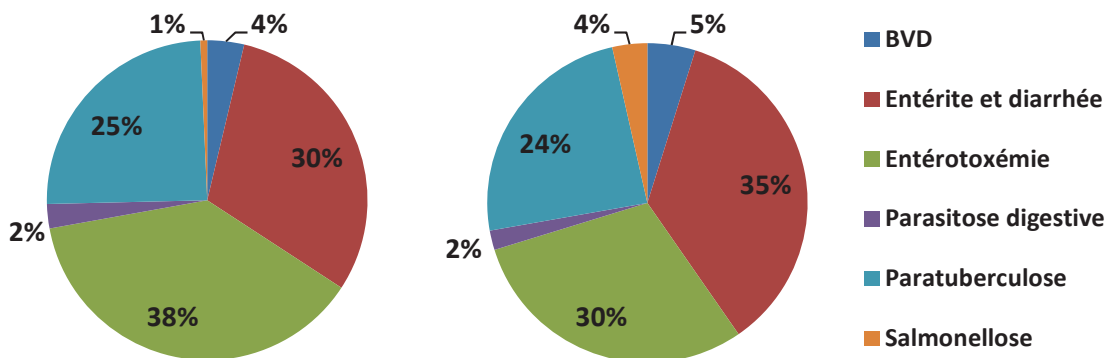


Figure 49 : Distribution des causes de mort par syndrome entérique chez les bovins allaitants (1 020 cas, à gauche) et chez les laitiers (2 004 cas, à droite) dans le Grand Ouest du 7 août 2000 au 16 mars 2001

Toutefois, certaines entérotoxémies sont certainement à rapprocher des causes inconnues, car il s'agit d'une hypothèse souvent émise pour des bovins retrouvés morts subitement sans autopsie ni examen fondé (Schelcher and Cabanié, 2002; Manteca, 2007). La part des morts attribuée à la paratuberculose est importante parmi celles associées à un syndrome entérique quel que soit le type de production (environ 25%), tandis que salmonellose et BVD

sont beaucoup plus rarement incriminées. Environ un tiers des diagnostics de ce groupe était limité à l'observation de symptômes (sous-groupe « Entérite et diarrhée »).

5.2.3.4 Les « autres causes »

La catégorie représentant le plus grand nombre de cas enregistrés dans la base de données (8 006 morts de bovins) est celle des « autres causes ». Cette catégorie regroupe les causes de mortalité dont le nombre d'occurrences dans la base de données est faible (telles que les maladies infectieuses, les intoxications, etc.) et celles qui sont peu informatives (vache couchée, péritonite, etc.). Le détail de ces autres causes est présenté dans le Tableau 18 (le sous-groupe « divers » rassemble les diagnostics qui n'ont pas pu être regroupés). On note que la base ne recèle que six suspicions d'ESB, ce qui peut sembler relativement faible étant donné que le programme était mené pour surveiller cette maladie.

Tableau 18 : Principales causes de mort regroupées dans la catégorie "autres causes"

Autres causes	Nombre de morts	Autres causes	Nombre de morts
Péritonite	1259	Néoplasie	188
Vache couchée*	871	Acétonémie	176
Météorisation	717	Piroplasiose	159
Autres hémorragies	541	Charbon	37
Tétanie	495	Listériose	36
Hépatopathie	471	Actinobacillose	21
Infection non spécifiée (abcès, septicémie, phlegmon)	464	Botulisme	18
Hémorragie digestive, ulcère de la caillette	442	Tétanos	17
Acidose	332	Actinomycose	15
Problème urinaire	299	Alcalose	15
Intoxication, envenimation, allergie	285	Anaplasiose	10
Phénomène inflammatoire	198	Suspicion d'ESB	6
Trouble nerveux	195	Divers	739

* *décubitus non explicitement lié à une cause identifiée (par exemple fièvre de lait ou écartèlement)*

5.2.3.5 Les causes inconnues

La catégorie « cause inconnue » représente respectivement 10% et 6% des diagnostics renseignés chez les bovins allaitants et laitiers, une différence qui peut sans doute s'expliquer par une surveillance moins attentive chez les bovins allaitants que chez les laitiers. Dans les deux populations, les morts subites (animal retrouvé mort sans symptômes préalables) représentent environ la moitié de ces morts.

L'importance relative de la catégorie « cause inconnue » est globalement faible (6,8% des diagnostics renseignés). Celle-ci est toutefois sous estimée, étant donné que les fiches dont le champ diagnostic n'avait pas été renseigné (23% du total) ont été exclues alors que certaines d'entre-elles appartenaient probablement à cette catégorie. Par ailleurs, de nombreux diagnostics classés dans d'autres catégories ne correspondaient pas à des diagnostics formels mais à des symptômes ou syndromes (vache couchée, diarrhée, péritonite...), ou des hypothèses diagnostiques peu spécifiques (entérotoxémie, foudre...). La proportion de diagnostics non établis semble donc en réalité beaucoup plus élevée.

Ces résultats reflètent les difficultés que rencontrent les vétérinaires pour établir un diagnostic formel pour les morts de bovins, en raison du manque de moyens mis en œuvre pour des examens complémentaires (analyses de laboratoire coûteuses pour l'éleveur,

pratique de l'autopsie peu courante et délicate sur des bovins adultes). Un grand nombre de ces animaux meurent donc sans que l'origine du problème puisse être identifiée, ce qui représente à la fois un problème sanitaire (impossibilité pour l'éleveur d'appliquer des mesures correctives) et épidémiologique (risque de passer à côté de maladies d'importance sanitaire ou économique).

5.2.4 Tendances saisonnières

Le taux de mortalité lié à chaque cause de mort n'a pas été constant au cours de la période d'étude, que ce soit chez les bovins laitiers ou allaitants (Tableau 19). En effet, si la mortalité est un phénomène aléatoire à l'échelle individuelle, elle ne l'est pas à l'échelle de l'exploitation agricole car un grand nombre de facteurs zootechniques (vêlage, alimentation, type de logement, etc.) ou liés à la conduite d'élevage influencent les causes de mort et la saisonnalité de ces facteurs de risque est forte. Les taux de mortalité pour les vêlages suivent, bien évidemment les pics de mises-bas, en novembre pour les vaches laitières et février pour les vaches allaitantes. Le vêlage est une période à risque pour la vache, non seulement à cause des éventuels désordres qui lui sont directement liés, mais également à cause du pseudo-stress (corticoïdes endogènes) provoqué qui a pour conséquence une plus grande sensibilité aux agents pathogènes.

Cependant, pour de nombreuses autres causes, on remarque que les taux sont plus élevés pour la période hivernale (décembre-février). Ceci peut s'expliquer en partie par une augmentation de la pression d'infection dans les locaux. Bien connue pour les affections des jeunes, elle existe aussi pour les adultes. Cette hypothèse est partiellement confirmée par le fait que les causes non infectieuses comme les corps étrangers ne présentent pas d'évolution saisonnière. D'autre part, on pourrait y voir une forme d'inadaptation du logement hivernal aux bovins, notamment au vu des causes accidentelles et les boiteries.

Tableau 19 : Evolution mensuelle des taux de mortalité (pour 1 000 bovins-années) par cause chez les bovins allaitants et laitiers (le mois de janvier 2001 n'a pas été représenté pour cause d'interruption du programme pendant la plus grande partie de ce mois)

	Août-00	Sept-00	Oct-00	Nov-00	Déc-00	Fév-01
Allaitants						
Accident	1,83	2,05	1,71	1,56	2,07	3,87
Autres causes	2,30	2,78	3,93	4,29	3,72	4,90
Boiterie	0,54	0,28	0,37	0,58	0,58	0,75
Cause inconnue	0,71	0,61	1,19	1,84	1,82	2,68
Corps étranger	0,31	0,30	0,32	0,44	0,39	0,48
Fièvre de lait	0,04	0,08	0,08	0,09	0,09	0,04
Mammites	0,14	0,08	0,09	0,12	0,1	0,19
Mauvais état général	0,39	0,32	0,34	0,39	0,75	2,10
Occlusion, torsion digestive	0,14	0,13	0,22	0,24	0,24	0,39
Problème cardiaque	0,17	0,22	0,26	0,23	0,21	0,47
Problème respiratoire	0,51	0,52	0,50	0,44	0,34	0,67
Syndrome entérique	1,13	1,09	1,67	1,83	1,64	2,39
Vêlage difficile	2,48	2,47	2,30	2,59	2,31	4,57
Laitiers						
Accident	2,80	3,32	3,11	3,12	3,27	5,77
Autres causes	3,34	3,99	5,17	4,94	4,63	5,64
Boiterie	0,73	0,71	0,87	1,26	1,20	1,80
Cause inconnue	0,58	0,72	1,01	1,21	1,57	1,96
Corps étranger	0,53	0,59	0,76	0,67	0,65	0,83
Fièvre de lait	1,36	1,22	0,96	1,19	0,80	0,79

Mammites	1,18	1,19	1,24	1,55	1,78	1,79
Mauvais état général	0,29	0,38	0,52	0,68	0,76	1,66
Occlusion, torsion digestive	0,72	0,87	1,10	1,20	1,17	1,52
Problème cardiaque	0,40	0,49	0,62	0,61	0,77	0,70
Problème respiratoire	0,66	0,51	0,65	0,81	0,77	0,82
Syndrome entérique	1,11	1,36	1,45	1,84	1,75	2,32
Vêlage difficile	2,66	2,99	3,40	3,95	3,48	3,08

5.2.5 Bilan de l'analyse

L'analyse de la base ESB a permis d'établir des statistiques sur les causes de mort des bovins du Grand Ouest en France, en 2000-2001 au moyen d'un système de classification inédit.

Les accidents (16,7% des diagnostics renseignés), les vêlages difficiles (15,8%) et les syndromes entériques (8,3%) représentaient les trois premières causes de mortalité rapportées, aussi bien chez les bovins laitiers que chez les bovins allaitants. Les bâtiments d'élevage étaient à l'origine de trois quarts des morts par accident dont les circonstances étaient précisées. La majorité des morts au vêlage chez les bovins laitiers étaient dues à des troubles locomoteurs post-partum tandis que les troubles matriciels étaient prépondérants chez les bovins allaitants. Les taux de mortalité observés étaient supérieurs chez les bovins laitiers pour toutes les causes, hormis « mauvais état général », « cause inconnue » et « syndromes entériques » qui étaient plus importants chez les bovins allaitants. La période hivernale était associée à une augmentation des taux de mortalité quelle que soit la cause considérée.

Les causes de mort décrites dans cette étude sont celles identifiées par les vétérinaires venus constater la mort des animaux. Souvent, le vétérinaire n'avait pas vu l'animal avant la mort et c'est donc par entretien avec l'éleveur qu'une hypothèse sur la cause a été émise. Il y a donc une part d'incertitude importante dans les diagnostics rapportés. Par ailleurs, aucune consigne stricte n'avait été donnée aux vétérinaires pour caractériser les causes de mort. Certains ont donc notifié des circonstances, des maladies, des symptômes voire des organes. Cette difficulté n'a pu qu'en partie être contournée par l'usage d'un algorithme de classification des chaînes de caractère.

La population bovine étudiée représente une part importante du cheptel français en termes d'effectif (en 2000, les trois régions considérées représentaient 43,6% de l'effectif des vaches laitières et 18,7% de l'effectif des vaches allaitantes au plan national). Elle n'est toutefois pas représentative de l'ensemble de la France, qui présente une typologie d'exploitations très variée selon les régions. Ces résultats ont par ailleurs été obtenus sur une base de données, constituée sur une période limitée au début des années 2000, en pleine crise de la « vache folle », ce qui a pu influencer les déclarations, notamment vis-à-vis des accidents.

Cette étude a donc été complétée par une enquête postale à destination des éleveurs de toute la France et menée sur une année entière en 2012.

5.3 Enquête postale auprès d'éleveurs

Afin de compléter les informations obtenues grâce à l'analyse de la base ESB, nous avons décidé de conduire une nouvelle enquête sur la mortalité bovine. Cette enquête, d'une durée d'un an, a été menée pour établir des statistiques actuelles sur la mortalité des bovins de tous âges et races en France et produire des connaissances susceptibles d'être exploitées dans le cadre d'un potentiel dispositif de surveillance syndromique basé sur la mortalité.

Nous présentons ici des résultats préliminaires de l'enquête, limités aux questionnaires reçus entre le 15 novembre 2010 (date de démarrage de l'enquête) et le 14 avril 2011 et correspondant aux morts survenues pendant la période hivernale. La présentation fournie ici est une synthèse. Une description plus détaillée de l'approche et de ses résultats peut être trouvée dans la thèse d'exercice vétérinaire (Boissard, 2011) dans le cadre de laquelle ce projet a été mené.

5.3.1 Dessin de l'enquête

L'enquête a été menée à dire d'éleveurs. Des questionnaires au format papier ont été envoyés chaque semaine pendant un an à des éleveurs dont un bovin avait été récemment envoyé à l'équarrissage. Deux types de questionnaires ont été utilisés. L'un était destiné aux bovins de moins de six mois et l'autre aux bovins de plus de six mois, considérant que les causes de mort étant très différentes chez les veaux et chez les bovins adultes.

Chaque semaine, un échantillon de bovins morts a été tiré au sort parmi ceux dont l'enlèvement était notifié au ministère en charge de l'Agriculture via l'EDI-SPAN (cf. paragraphe 2.2.2). Un questionnaire personnalisé était alors édité et envoyé au propriétaire de chacun de ces bovins.

5.3.1.1 Conception des questionnaires

Les questionnaires étaient limités à une page, afin de faciliter le renseignement par l'éleveur et optimiser le taux de réponse. Chaque questionnaire était pré-rempli avec le numéro d'identification de l'animal équarri, son sexe et sa date d'enlèvement. Pour les jeunes veaux qui n'avaient pas de numéro d'identification, la mention « veau de moins de 20 jours » était apposée.

Les deux types de questionnaires, contenant des questions communes et des questions spécifiques, étaient organisés en deux parties. La première partie regroupait trois questions relatives à l'environnement et au mode d'élevage de l'animal au moment de sa mort, ainsi que cinq questions sur la manière dont la mort était survenue, avait été notifiée et le rôle du vétérinaire dans ce processus.

La seconde partie portait sur la cause de la mort. Le questionnaire proposait dix causes de mort à l'éleveur, ainsi qu'une case « Autres causes » et une case « Ne sait pas ». Une mention demandait aux éleveurs de ne choisir qu'une seule et unique cause de mort. Un champ libre était associé à chaque cause proposée afin que les éleveurs puissent préciser leur choix.

Les dix propositions de causes de mort ont été choisies à partir de la bibliographie et de l'étude menées sur les fiches d'information et de suivi de la mortalité (cf. paragraphe précédent). La formulation a été adaptée aux connaissances et expressions communément

utilisées par les éleveurs. Les questionnaires ont été testés auprès de quinze éleveurs de la région lyonnaise pour apprécier la réaction de l'éleveur, sa compréhension du questionnaire et ainsi le modifier en fonction de ces premiers retours.

5.3.1.2 Tirage au sort

L'analyse préalable de la BDNI que nous avons conduite a montré que plus de la moitié des morts de bovins intervient chez les veaux de moins de 21 jours. Les veaux sont non seulement nombreux à mourir, mais de plus ils meurent pour des causes récurrentes bien identifiées et très homogènes. Nous avons décidé de stratifier l'échantillon selon l'âge des animaux, afin d'appliquer des taux de sondage plus importants dans les catégories d'âge où les causes sont plus variables et moins bien décrites, et pour lesquelles les effectifs sont moins importants.

La catégorie d'âge EDI-SPAN étant la seule donnée disponible pour toutes les morts notifiées, c'est cette variable qui a été choisie pour effectuer la stratification. Les catégories d'âge dans la base de données EDI-SPAN sont les suivantes : [0-20 jours],]20 jours-six mois],]6-12 mois],]12-24 mois],]24 mois- ∞[.

Les taux de sondage à appliquer à chaque strate d'âge ont été déterminés selon des contraintes statistiques, logistiques et financières. Nous avons souhaité maintenir tout d'abord des taux de sondage fixes au cours de l'année et ce, malgré le fait que le nombre de morts est très variable selon les saisons, afin de ne pas artificiellement augmenter ou diminuer l'importance de certaines causes de mortalité saisonnières. D'autre part pour respecter le budget et le temps de travail pouvant être alloués à l'étude, il a été décidé qu'un maximum de 50 000 questionnaires devait être envoyé au cours de l'année, sans jamais dépasser la limite de 200 questionnaires par jour. Enfin, la moitié des questionnaires envoyés devaient correspondre à des bovins de plus de 24 mois.

Le nombre total de tirages au sort attendus au bout d'un an a été estimé en appliquant les taux de sondage aux données 2009 de l'EDI-SPAN. Plusieurs valeurs ont été testées. Les valeurs finalement adoptées (Tableau 20) ont été celles répondant aux différentes conditions ci-dessus et permettant d'obtenir le plus grand échantillon possible.

Tableau 20: Simulation de taux de sondages sur les données EDI-SPAN 2008-2009

Catégorie EDI-SPAN	Age	Nombre d'enlèvements	Taux de sondage T1	Nombre d'animaux qui auraient été tirés
BVIN20J	[0 -20 jours]	729 028	0,01	7 290
BVIN6M	]20 jours-6 mois]	236 079	0,03	7 082
BVIN9M	[6 - 9 mois]	43 743	0,1	4 374
BVIN12M	[9 - 12 mois]	31 040	0,1	3 104
BVIN18M	]12 - 18 mois]	36 874	0,1	3 687
BVIN24M	]18- 24 mois]	21 815	0,1	2 181
BVISUP2A	]24 mois - ∞[	314 108	0,07	21 987
TOTAL		1 412 813	0,0352	49 695

5.3.1.3 Edition, envoi, retour et saisie des questionnaires

Le bon déroulement du tirage au sort quotidien était consigné dans un rapport envoyé automatiquement aux personnes en charge du suivi l'enquête. Le bon déroulement de l'édition, de l'impression, de la mise sous pli et de l'envoi des questionnaires était suivi grâce à une application spécifiquement développée dans ce but (Figure 50).

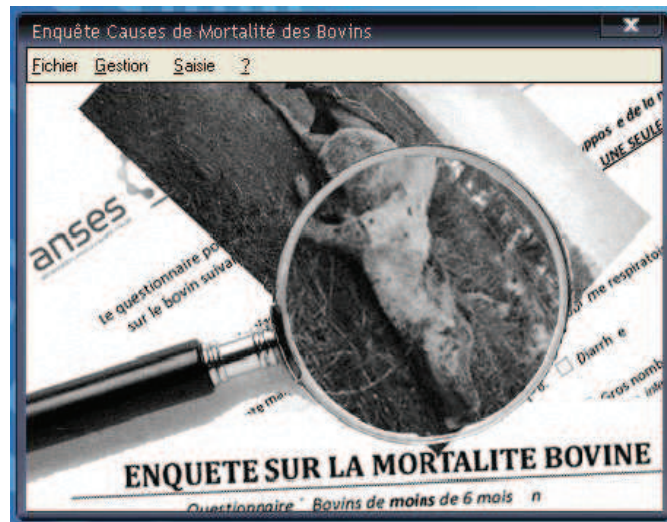


Figure 50: Capture d'écran de l'application "Enquête Causes de Mortalité des Bovins"

Les réponses aux questionnaires ont été saisies par des secrétaires qui disposaient d'éléments lexicaux afin de saisir les champs libres sans faute d'orthographe. Une procédure de saisie a été mise au point afin d'harmoniser la saisie des différentes personnes intervenant.

5.3.1.4 Gestion des réponses aberrantes et des champs libres

Malgré la phase de test et les corrections apportées, les éleveurs ont fait des erreurs lors du renseignement des questionnaires, qui ont pu être identifiées parce que les précisions renseignées dans les champs libres ne correspondaient pas à la case cochée. Les éleveurs ont également rempli des champs libres lorsqu'aucune proposition de réponse ne correspondait à leur cas. Nous avons donc effectué un travail de reclassement par mot-clé afin de « récupérer » ces questions mal renseignées et extraire une information globale des champs libres lorsque cela était possible.

Par exemple certains éleveurs avaient coché la cause de mort « autre cause » mais décrivaient dans le champ libre une cause de mort qui était listée dans les dix propositions du questionnaire. Nous avons donc créé un algorithme permettant de reclasser les causes de morts « autres » erronées dans les catégories adéquates.

D'autres n'avaient pas suivi la consigne donnée et ont coché plusieurs causes de mort. Ces questionnaires, en faible nombre, ont été exclus.

5.3.2 Description de l'échantillon analysé

L'envoi de questionnaires a pris fin le 11/11/2011. Au 31/12/2011, 20 495 questionnaires avaient été reçus, soit un taux de réponse global de plus de 41,8%. L'analyse globale de ces questionnaires, dépassant le cadre de notre projet de thèse, se réalisera au cours de l'année

2012 et devrait permettre la publication d'articles dans des revues internationales à comité de lecture.

L'échantillon analysé et décrit ici correspond aux questionnaires reçus jusqu'au 14 avril 2011. A cette date, 26 065 questionnaires avaient été envoyés et concernaient 18 105 bovins de plus de six mois et 7 960 bovins de moins de six mois ; 43,3% des questionnaires (soit 11 302 questionnaires) concernaient des bovins laitiers et 43,1% (11 243) concernaient des bovins allaitants ; 13,5% des questionnaires (3 520) étaient destinés à des bovins de type de production inconnu, qui étaient très majoritairement des animaux de moins de 20 jours.

A la même date, 9 753 questionnaires avaient été reçus, portant sur 6 997 bovins de plus de six mois et 2 756 veaux de moins de six mois ; 45,2% des questionnaires (soit 4 411 questionnaires) concernaient des bovins laitiers et 43,9% (4 290) concernaient des bovins allaitants ; 10,8% des questionnaires (1 052) correspondaient à des bovins de type de production inconnu.

Le taux de réponse global était de 37,4%, ce qui est très élevé pour ce type d'étude (où les taux de réponse attendus sont plutôt proches de 20%). Les taux de réponse variaient selon l'âge des animaux : le taux était de 31,4%, 37,7%, 37,0% et 39,6% respectivement pour les veaux de moins de 20 jours, les veaux de 20 jours à six mois, les jeunes bovins de six mois à deux ans et les bovins de plus de deux ans. Le taux de réponse était de 39,0% pour les bovins laitiers et 38,2% pour les bovins allaitants, et de 37,0% pour les mâles et 38,3% pour les femelles. Des disparités étaient par ailleurs observées dans les taux de réponse entre départements (valeurs variant de 18% à 56%).

5.3.3 Causes de mort rapportées en fonction de l'âge et du type de production

Quatre groupes d'âge ont été définis pour la restitution des résultats : les veaux de moins de 20 jours, les veaux de 21 jours à six mois, les jeunes bovins de six mois à deux ans et les animaux de plus de deux ans.

Les résultats présentés ici sont des résultats préliminaires. A ce titre, ils ne sont pas rapportés à la population vivante à risque, mais décrivent l'importance relative des différentes causes de mort dans la population morte (mortalité proportionnelle).

5.3.3.1 *Veaux de moins de 20 jours*

Etant donné le grand nombre de bovins de moins de 20 jours sans type de production renseigné, les causes de mort des bovins de cet âge ont été décrites sans distinction sur le type de production.

Hormis les « Autres causes », les causes de mort les plus fréquemment rapportées dans cette catégorie d'âge étaient les diarrhées (24,1%), les veaux mous (8,7%), les causes inconnues (8,2%) et les malformations de naissance (7,6%) (Tableau 21).

Tableau 21: Répartition des différentes causes de mort chez les veaux de moins de 20 jours

Causes de mort	Nombre de morts	Fréquence (%)
<i>Pas de réponse (NR)</i>	12	-
Problème respiratoire	69	5,9
Diarrhée	280	24,1
Gros nombril	20	1,7
Arthrite	8	0,7
Malformation de naissance	88	7,6
Problème de pied ou de patte	3	0,3
Accident	47	4,1
Raide, tétanie	2	0,2
Météorisation	10	0,9
Veau faible ou mou	101	8,7
Hémorragie	10	0,9
Autre cause	427	36,8
Cause inconnue	95	8,2
Total (sans les NR)	1 160	100

Les « Autres causes » étaient constituées à 85% veaux morts suite à de problèmes de vêlage (Tableau 22). Cette cause n'avait pas été insérée dans la liste des propositions car les questionnaires ne devaient initialement pas être adressés aux propriétaires de veaux morts avant 48h (ce qui finalement n'a pas été possible compte-tenu de l'absence fréquente de l'âge réel des veaux morts dans la base de données utilisée pour le tirage au sort).

Tableau 22: Précision des "autres causes" chez les bovins de moins de 20 jours

"Autres causes" détaillées	Nombre d'occurrences	Fréquence (%)
Autre occlusion	2	0,5
Cardiaque	3	0,7
Corps étranger	2	0,5
Divers	39	9,1
Entérotoxémie	3	0,7
Hémorragie digestive, ulcère de la caillette	4	0,9
Mauvais état général	3	0,7
Phénomène infectieux	5	1,2
Problème suite vêlage	362	84,8
Problème urinaire	1	0,2
Réaction anaphylactique	1	0,2
Trouble nerveux	2	0,5
Total	427	100

5.3.3.2 Veaux de 20 jours à six mois

Chez les bovins laitiers de 20 jours à six mois, les problèmes respiratoires et les diarrhées étaient cités à part égale dans les causes de morts (Tableau 23). Les entérites représentaient chez les laitiers une cause de mort proportionnellement deux fois plus importante que chez les allaitants. Les malformations de naissance étaient citées dans 4,5% des causes de morts des veaux allaitants contre 2,1% chez les bovins laitiers.

Tableau 23: Répartition des différentes causes de mort chez les veaux laitiers et allaitants de 20 jours à six mois

Causes de mort	Laitiers		Allaitants		Total	
	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)
NR	2	NC	7	NC	9	0,6
Problème respiratoire	140	29,0	272	29,7	412	29,4
Diarrhée	131	27,2	127	13,8	258	18,4
Gros nombril	10	2,1	22	2,4	32	2,3
Arthrite	12	2,5	23	2,5	35	2,5
Malformation de naissance	10	2,1	41	4,5	51	3,6
Problème de pied ou de patte	4	0,8	3	0,3	7	0,5
Accident	26	5,4	73	8,0	99	7,1
Raide, tétanie	1	0,2	7	0,8	8	0,6
Météorisation	45	9,3	80	8,7	125	8,9
Veau faible ou mou	26	5,4	54	5,9	80	5,7
Hémorragie	6	1,2	11	1,2	17	1,2
Autre cause	41	8,5	111	12,1	152	10,9
Cause inconnue	30	6,2	93	10,1	123	8,8
Total (sans les NR)	482	100,0	917	100,0	1399	100,0

Chez les bovins de 20 jours à six mois, les « Autres causes » étaient variées. Parmi celles-ci, les plus représentées étaient les problèmes cardiaques, les entéro-toxémies, les ulcères de la caillette et les hémorragies digestives, les péritonites et les problèmes suite au vêlage.

D'après le test du Khi^2 ($p < 0,01$), la répartition des causes de mort était significativement différente selon le type de production. Cette différence peut avoir des origines zootechniques ou génétiques qu'il sera nécessaire d'explorer.

5.3.3.3 Bovins de six mois à deux ans

Les causes de mort les plus souvent rencontrées chez les jeunes bovins de six mois à deux ans étaient identiques dans les deux types de production (Tableau 24) : accidents, problèmes respiratoires, diarrhées et causes inconnues. Le test du Khi^2 montre toutefois une différence significative dans la répartition des causes de mort entre les bovins laitiers et les bovins allaitants ($p < 0,01$).

Tableau 24: Répartition des différences causes de mort chez les bovins laitiers et allaitants de six mois à deux ans

Causes de mort	Laitier		Allaitant		Total	
	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)
NR	10	NC	0	NC	10	NC
Accident	207	24,1	281	20,0	488	21,5
Vêlage difficile	16	1,9	14	1,0	30	1,3
Entérite, diarrhée	85	9,9	139	9,9	224	9,9
Mammite	0	0,00	1	0,1	1	0,0
Occlusion, torsion digestive	32	3,7	81	5,8	113	5,0
Boiterie	8	0,9	35	2,5	43	1,9
Fièvre de lait	0	0	0	0	0	0
Corps étranger	29	3,4	32	2,3	61	2,7
Problème respiratoire	221	25,8	406	28,8	627	27,7
Problème cardiaque	29	3,4	63	4,5	92	4,1
Mauvais état général	64	7,5	62	4,4	126	5,6
Autre cause	59	6,9	126	8,9	185	8,2
Ne sait pas	107	12,5	168	11,9	275	12,1
Total	857	100,0	1 408	100,0	2 265	100,0

Les autres causes étaient variées et nombreuses, avec la présence de maladies infectieuses et de maladies réglementées : trois cas de fièvre catarrhale ovine alors qu'aucun foyer n'a été déclaré en France pendant la durée de l'étude, ainsi qu'un cas de listériose et un cas de tétanos. Deux des jeunes bovins de six mois à deux ans étaient morts de néoplasie selon les éleveurs.

5.3.3.4 Bovins de plus de deux ans

Deux causes de mort principales étaient observées chez les bovins de plus de deux ans tout type de production confondu : les accidents (21% des morts) et les vêlages difficiles (18,2%). Ces causes étaient suivies dans une moindre mesure des causes inconnues (9,6%) et des corps étrangers (8,9%). Les « Autres causes » ne représentaient que 6,5% des causes choisies par les éleveurs (Tableau 25).

Tableau 25: Répartition des différentes causes de mort chez les bovins laitiers et allaitants de plus de deux ans

Causes de mort	Laitier		Allaitant		Total	
	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)
NR	8	NC	9	0,6	17	0,4
Accident	598	22,0	312	19,4	910	21,0
Vêlage difficile	339	12,4	451	28,0	790	18,2
Entérite, diarrhée	126	4,6	101	6,3	227	5,2
Mammite	158	5,8	9	0,6	167	3,9
Occlusion, torsion digestive	204	7,5	87	5,4	291	6,7
Boiterie	151	5,5	36	2,2	187	4,3
Fièvre de lait	131	4,8	3	0,2	134	3,1
Corps étranger	264	9,7	122	7,6	386	8,9
Problème respiratoire	110	4,0	46	2,9	156	3,6
Problème cardiaque	135	5,0	67	4,2	202	4,7
Mauvais état général	112	4,1	66	4,1	178	4,1
Autre cause	148	5,4	133	8,3	281	6,5
Ne sait pas	247	9,1	170	10,5	417	9,6
Total (sans les non répondant)	2 723	100,0	1 612	100,0	4 335	100,0

La distribution des causes de mort selon le type de production était significativement différente dans cette catégorie d'âge selon le test du χ^2 ($p < 0,01$). Les morts dues au vêlage représentaient une proportion de causes de mort deux fois plus importante chez les vaches allaitantes que chez les vaches laitières. Celles-ci en revanche présentaient des proportions de mort par mammite ou de fièvre de lait beaucoup plus importantes alors que ce sont des causes de mort anecdotiques en production allaitante (environ zéro et 1%). Les causes inconnues étaient relativement fréquentes dans les deux types de production, représentant près de 10% des cas.

Voir (Boissard, 2011) pour une description plus détaillée de certaines causes de mort, notamment des accidents, des mammites, des entérites, etc. Nous ne développerons ci-après que les morts relatives au vêlage.

5.3.4 Vêlage et mort

Le vêlage est un moment clé dans le cycle de la production, associé à un risque de mortalité accru, dues aux dystocies ainsi qu'aux troubles métaboliques ou aux infections pouvant survenir à la suite du vêlage. Dans notre enquête, un vêlage difficile était cité comme cause de mort dans près de 20% des morts de bovins adultes (22% chez les vaches laitières et 19,4% chez les allaitantes).

La répartition temporelle des morts par rapport à la date de vêlage a été étudiée pour 1 666 vaches laitières et 714 vaches allaitantes dont le questionnaire comportait une date de vêlage. La distribution des délais vêlage-mort diffère entre les deux types de production. Le pic de mort au moment du vêlage et immédiatement après est beaucoup plus important

chez les vaches allaitantes que chez les vaches laitières, chez qui le nombre de morts est plus étalé dans la période post-partum (Figure 51).

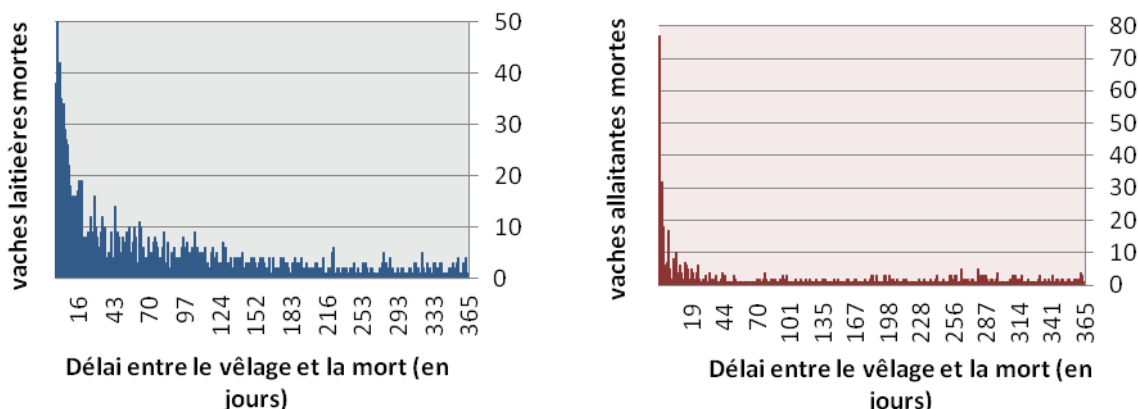


Figure 51 : Délai en jours entre la mort et le vêlage chez les vaches laitières (à gauche) et allaitantes (à droite)

Il faut toutefois noter que parmi les questionnaires retournés pour les vaches de plus de deux ans, certains ne comportaient pas de date de vêlage alors que l’animal était en production et avait donc forcément vêlé. Respectivement 28% des vaches déclarées tarées et 18% des vaches déclarées tarées ou en production n’avaient pas de date de vêlage renseignée, ce qui suggère que la sous-déclaration était d’autant plus importante que la date de vêlage était éloignée de celle de la mort.

Le détail des deux premières semaines après le vêlage confirme cette différence de distribution (Figure 52). La mortalité des vaches allaitantes est très importante le jour même du vêlage mais décroît ensuite rapidement, tandis que les morts sont plus étalées chez les vaches laitières.

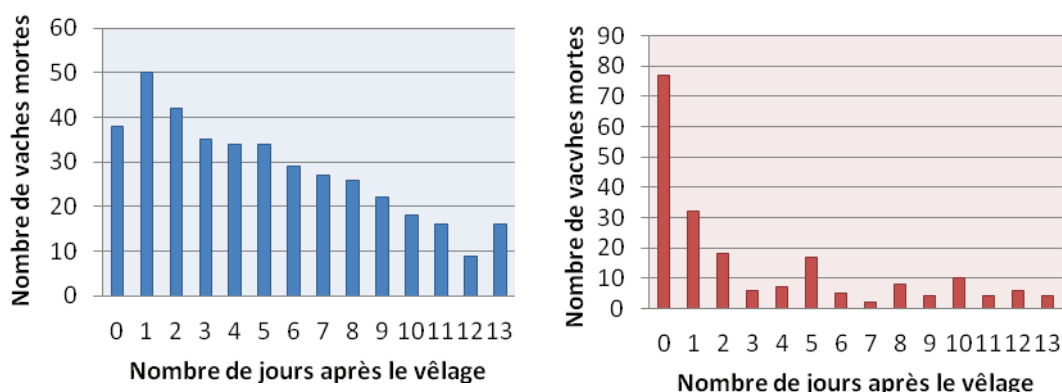


Figure 52: Détail du nombre de vaches mortes dans les 13 jours après le vêlage chez les vaches laitières (à gauche) et allaitantes (à droite)

Ces observations sont à rapprocher des précisions apportées par les éleveurs ayant choisi « Vêlage difficile » comme cause de mort (Tableau 26). Les catégories de causes détaillées ont été créées en fonction des commentaires des éleveurs, mais ne sont pas exclusives les unes des autres. En effet, une césarienne a pu être réalisée à la suite d’une dystocie d’origine fœtale, de même une déchirure obstétricale peut être survenue après une extraction forcée. S’il existe probablement un biais de classement, celui-ci est en revanche

identique pour les deux types de production puisque le même algorithme de reconnaissance des termes a été utilisé.

Tableau 26: Répartition des causes détaillées de morts dues à un vêlage difficile chez les vaches laitières et allaitantes de plus de 2 ans

Détail des vêlages difficiles	Laitier		Allaitant	
	Nombre	Fréquence (%)	Nombre	Fréquence (%)
Autre infection post partum	12	3,6	12	2,7
Autre mort suite vêlage	86	25,8	67	15,2
Césarienne et extraction forcée	34	10,2	58	13,2
Dystocie d'origine fœtale et avortement	50	15,0	57	13,0
Hémorragie et déchirure obstétricale	44	13,2	110	25,0
Métrite	5	1,5	3	0,7
Renversement et torsion de matrice	48	14,4	112	25,5
Trouble locomoteur post partum	54	16,2	21	4,8
Total	333	100,0	440	100,0

Le test du χ^2 montre une différence significative ($p < 0,001$) de l'importance relative des différentes causes de mort entre les deux types de production. Les causes de mort les plus souvent précisées par les éleveurs allaitants étaient les hémorragies, les césariennes, et les renversements et torsions de matrice. Ces pathologies sont caractéristiques de la production allaitante qui cherche à produire des veaux de grande conformation physique, ce qui entraîne plus de difficultés au vêlage. D'après les éleveurs laitiers, les morts des vaches laitières associées au vêlage correspondaient le plus souvent à des vaches couchées après vêlage (sans que l'on puisse distinguer les fièvres de lait des mammites ou autres pathologies non diagnostiquées), des lésions nerveuses ou autres écartèlements (habituellement désignés sous le terme d'« équasillage »). On note les rares mentions de cas d'infections (métrite, péritonite) dans les deux types de production.

Ainsi le vêlage semble causer des morts rapides chez les vaches allaitantes (hémorragie ou renversement de matrice) et plus retardées chez les vaches laitières (euthanasie suite à des paralysies post-partum qui ne se résolvent pas).

5.3.5 Pratique de l'euthanasie

L'euthanasie est une pratique qui participe au bien-être animal dans le sens où elle permet la réduction de la souffrance animale en cas de maladie incurable. Elle a par ailleurs un intérêt d'un point de vue de la surveillance épidémiologique de la mortalité, puisqu'il s'agit d'un facteur affectant le délai exposition-signal (c.à.d. mort) sous contrôle de l'éleveur et du vétérinaire.

Le recours à l'euthanasie est une décision complexe dépendant de nombreux facteurs : valeur économique et génétique de l'animal, sensibilité au bien-être animal et considérations personnelles (attachement à l'animal, rapport à la mort) de l'éleveur, durée d'évolution de la maladie et pronostic... Dans notre étude, la proportion d'euthanasies variait grandement selon l'âge du bovin et le type de production.

La proportion d'euthanasies augmentait avec l'âge des animaux : 1,6% pour les bovins morts à moins de 20 jours, 5,3% pour les bovins de 20 jours à six mois, 9,9% pour les jeunes bovins de six mois à deux ans et 26,6% pour les bovins de plus de deux ans. Les jeunes meurent

probablement plus souvent sans assistance parce que l'évolution des maladies est plus rapide chez eux. Toutefois, dans notre enquête plus de 10% des animaux de six mois à deux ans étaient morts après une maladie évoluant depuis plus de 30 jours et auraient donc pu faire l'objet d'une euthanasie. La souffrance des jeunes animaux est peut-être aussi moins visible et par ailleurs peut-être moins prise en compte que celles des animaux adultes.

La proportion d'euthanasies était plus importante chez les bovins laitiers que chez les bovins allaitants quelle que soit la classe d'âge et la cause considérée. Cette différence peut s'expliquer par la proportion plus importante d'animaux trouvés morts chez les allaitants, elle-même expliquée par le fait que ces animaux sont sous une surveillance moins constante de l'éleveur. Une autre hypothèse est que la politique de réforme est plus stricte en production laitière qu'en production allaitante, ce qui conduit les éleveurs laitiers à euthanasier plus rapidement une vache qui fait des récidives de mammite, ou de boiterie, ou qui tout simplement n'est plus économiquement rentable lorsqu'elle ne peut pas être abattue.

La proportion d'euthanasie variait évidemment avec la nature de la pathologie ayant entraîné la mort et la valeur résiduelle de la carcasse. La principale cause de mort ayant entraîné l'euthanasie des veaux de moins de 20 jours était la malformation congénitale. Les euthanasies des veaux de 20 jours à six mois étaient moins fréquentes pour les causes les plus représentées (diarrhées et problèmes respiratoires) que pour les causes plus rares (association gros nombril/arthritis, problème de pied ou de patte, accident et autre causes), quel que soit le type de production.

Chez les bovins de plus de six mois, la proportion maximale d'euthanasies était observée pour les morts associées aux boiteries (Tableau 27). Ces animaux ne peuvent plus aujourd'hui être abattus car la réglementation sur le bien-être animal limite les possibilités de transport pour des animaux qui ne peuvent plus se déplacer seuls.

La proportion d'euthanasies suites à un vêlage difficile était plus importante chez les vaches laitières que les vaches allaitantes. Cette observation est cohérente avec les résultats décrits dans le paragraphe 5.3.4, qui indiquent que les morts des vaches allaitantes liées au vêlage sont plus violentes et rapides, que celles des vaches laitières souvent associées à un *décubitus post partum*.

Tableau 27: Proportion des bovins de plus de six mois euthanasiés selon les causes de mort

	Laitiers (%)			Allaitants (%)			Total (%)		
	6 mois à 2 ans	Plus de 2 ans	Total	6 mois à 2 ans	Plus de 2 ans	Total	6 mois à 2 ans	Plus de 2 ans	Total
Accident	21,5	58,4	49,2	19,9	20,1	20,0	20,6	45,6	37,0
Vêlage difficile	18,8	36,1	35,3	38,5	13,7	14,4	27,6	23,5	23,6
Entérite, diarrhée	19,3	28,6	24,9	5,1	13,1	8,5	10,5	21,8	16,2
Mammite	0,0	33,8	33,8	0,0	33,3	30,0	0,0	33,7	33,5
Occlusion, torsion digestive	6,5	24,0	21,6	7,8	11,8	9,9	7,4	20,4	16,8
Boiterie	50,0	54,0	53,8	37,1	44,4	40,8	39,5	52,2	49,8
Fièvre de lait	0,0	33,3	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6	32,6
Corps étranger	19,2	19,2	19,2	9,4	10,9	10,6	13,8	16,6	16,2
Problème respiratoire	5,0	13,8	8,0	1,0	0,0	0,9	2,4	9,7	3,9
Problème cardiaque	0,0	6,2	5,1	1,6	6,3	4,0	1,1	6,2	4,6
Mauvais état général	14,3	32,7	26,0	11,7	18,2	15,1	13,0	27,3	21,4
Autre cause	15,5	32,7	27,8	8,9	21,5	15,4	11,0	27,4	21,0
Ne sait pas	2,9	8,7	7,0	2,4	3,1	2,7	2,6	6,4	4,9
Total	12,5	33,7	28,7	8,3	14,4	11,5	9,9	26,6	20,9

Selon notre enquête, le nombre et la proportion de morts par euthanasie étaient par ailleurs variables selon le jour de la semaine. En effet, alors qu'on aurait pu attendre que le jour de la mort soit aléatoire, le test du χ^2 de conformité montre une différence significative ($p < 2,2e-16$) entre les répartitions théorique (uniforme) et observée du nombre de morts par jour de la semaine (Figure 53).

Cette répartition est difficile à interpréter, d'autant plus que le nombre de morts sans assistance est lui aussi réparti d'une façon non aléatoire au cours de la semaine. Des biais de notification pourraient être à l'origine de certaines de ces variations. Par exemple certains éleveurs ont pu notifier le jour de ramassage du cadavre par l'équarrissage plutôt que le jour réel de la mort.

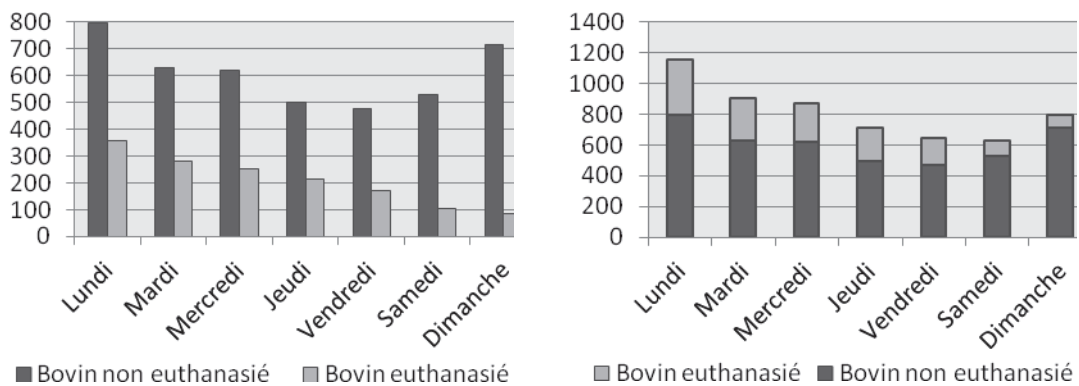


Figure 53 : Répartition du nombre de morts avec ou sans euthanasie (histogrammes groupés et empilés), chez les bovins laitiers et allaitant, selon le jour de la semaine

Une partie de ces différences peut aussi refléter une variation réelle de la mortalité au cours de la semaine, qui pourrait être liée à des variations dans les soins apportés aux animaux (organisés selon un emploi du temps hebdomadaire) et dans le recours à l'euthanasie.

L'effet du jour de la semaine observé sur les euthanasies est explicable, au moins en partie, par les contraintes auxquelles sont soumis les éleveurs. En effet, les éleveurs pourraient faire moins fréquemment euthanasier leurs bovins le week-end pour éviter des frais vétérinaires au tarif de garde. De plus, les éleveurs pourraient éviter d'avoir recours à des euthanasies les veilles des jours de fermeture de l'équarrissage, c'est à dire le vendredi et le samedi pour ne pas avoir à garder un cadavre plusieurs jours sur la ferme, les centres d'équarrissage ne travaillant généralement pas le week-end. Cette hypothèse expliquerait la répartition des euthanasies, dont le nombre se réduit du vendredi au dimanche et se rattrape en début de semaine.

Cet évitement de l'euthanasie du vendredi au dimanche pourrait expliquer en creux l'augmentation du nombre de morts sans assistance ces jours-là. Cette observation semble particulièrement plausible pour le samedi, où le nombre de morts non assistées complète tout à fait le nombre d'euthanasies. Le rattrapage des euthanasies en début de semaine explique peut-être une part de la diminution de morts sans assistance au cours de la semaine, puisque les animaux susceptibles de mourir ces jours là le sont déjà.

5.3.6 Poursuite de l'analyse

L'analyse des résultats préliminaires de l'enquête a permis d'identifier et d'évaluer l'importance relative des différentes causes de mort par type de production et catégories d'âge. Elle a par ailleurs permis de décrire le lien entre vèlage et mort, ainsi que les déterminants du recours à l'euthanasie. Les différences observées entre les différentes populations, parfois importantes, sont cependant difficiles à interpréter à ce stade.

Le travail d'analyse va désormais être poursuivi par l'unité Epidémiologie de l'Anses-Lyon sur l'ensemble des questionnaires reçus (20 495) notamment pour estimer des taux ou risques de mortalité en rapportant les nombres de morts constatés à la population à risque correspondante. Disposer des données sur l'année entière permettra l'analyse de l'évolution des causes de mort en fonction de la saison. De plus, grâce aux numéros d'identification des exploitations et des animaux, elle pourra croiser ces résultats avec des données sur les exploitations (taille, localisation, typologie, etc.) et les animaux eux-mêmes (mouvements antérieurs, carrière productive), ce qui permettra d'étudier différents facteurs de risque relatifs à une cause de mort en particulier.

5.4 Intérêt des causes de mort pour la surveillance épidémiologique

Les trois approches de l'étude des causes de mortalité bovine (bibliographique, analyse des FISM, enquête postale auprès d'éleveurs) ont permis de produire des connaissances qui auront un intérêt certain d'un point de vue sanitaire et zootechnique. Mais ces informations ont aussi un intérêt pour la surveillance épidémiologique de la population bovine.

5.4.1 Amélioration des méthodes de détection d'anomalies

Connaître les causes principales et « ordinaires » de mortalité est un préalable important à l'établissement d'un dispositif de surveillance de la mortalité, même si cette information n'est ensuite pas disponible en routine.

En effet, l'étude des causes de mortalité permet d'expliquer certaines caractéristiques temporelles, géographiques et démographiques du niveau de référence que nous avons précédemment présenté. Ces informations peuvent être mises à profit pour améliorer la modélisation du niveau de référence et donc par conséquent la détection d'anomalies basées sur les prédictions émises par ces modèles.

Par exemple, les différentes études que nous avons menées ont montré la part importante des vèlages difficiles parmi les causes de mort. Cette observation suggère que le nombre de vèlages survenus au temps t dans une population pourrait être une variable de prédiction du nombre de morts de vaches les jours ou semaines suivants dans cette population. De plus, la description a montré que la distribution temporelle des morts de vaches après le vèlage était différente selon le type de production, suggérant que la modélisation de l'effet du vèlage devrait être différente dans les deux populations.

Par ailleurs, les informations collectées sur le recours à l'euthanasie montrent que cette pratique courante en santé animale, qui modifie le délai entre l'apparition des symptômes et la survenue de la mort, pourrait affecter le délai exposition-signal. Or, la variabilité du délai exposition-signal influence les performances de la détection d'anomalies. En effet, si ce délai est stable, l'exposition simultanée d'un groupe d'individus conduira à une apparition de cas simultanée. En revanche si ce délai est variable, l'exposition simultanée d'un groupe d'individus conduira à l'apparition de cas dans des délais variables, qui seront donc « dilués » dans le niveau de référence. Ainsi, on peut imaginer que si la variabilité des comportements vis-à-vis de l'euthanasie risque d'être un facteur défavorable à la détection d'anomalies, il sera peut-être nécessaire de trouver un moyen de neutraliser cet effet.

5.4.2 Surveillance par cause de mort

Les causes de mort ne sont pas disponibles dans les dispositifs actuels de collecte d'information sur la mortalité (BDNI et EDI-SPAN). Pourtant, si cette information était disponible, elle permettrait d'augmenter significativement l'intérêt du dispositif et ses performances.

Notre étude des causes de mort chez les bovin pourra être exploitée dans le cadre des réflexions à mener sur les évolutions pouvant être apportées aux systèmes d'information existants, en les complétant par exemple avec un certain niveau d'information sur les causes de morts (cf. Chapitre 4).

5.4.3 Conclusion sur les données disponibles et leur intérêt

L'une des principales originalités des travaux que nous avons présentés dans cette partie réside dans l'angle d'étude que nous avons adopté. En effet, la mortalité bovine n'avait pas encore été étudiée sous l'angle démographique et épidémiologique. La plupart des données disponibles dans la littérature ont été produites en marge d'études ciblant des pathologies particulières (ex. calcul du taux de mortalité associé à la pathologie étudiée). La mortalité « endémique » dans les élevages bovins semble avoir moins attiré l'attention de la communauté scientifique que la mortalité associée aux catastrophes sanitaires que connaît sporadiquement le cheptel bovin, alors qu'elle pose de véritables questions éthiques et que ses conséquences économiques sont probablement tout aussi importantes.

Les retours que nous ont transmis les professionnels de terrain sur les synthèses produites à partir des données enregistrées par les dispositifs existants suggèrent que ces données sont de bonne qualité et reflètent bien le niveau sanitaire des populations étudiées. Les rapports que nous avons diffusés et l'appréciation positive qu'en ont faite leurs destinataires, montrent que les données collectées en routine dans la BDNI et l'EDI-SPAN peuvent être aisément valorisées auprès des acteurs de la santé animale. Les indicateurs de mortalité proposés représentent des outils de mesure du niveau sanitaire global des populations considérées. A ce titre, des bilans réguliers sur la mortalité permettraient aux professionnels et à l'administration d'accéder à des informations qu'ils pourraient mettre à profit pour identifier certaines populations animales au niveau de santé non satisfaisant, orienter les programmes de prévention, évaluer leur efficacité...

Les systèmes d'information actuels permettent de collecter, gérer et analyser efficacement d'énormes volumes de données. Des améliorations seraient toutefois envisageables. L'introduction de la cause de la mort parmi les informations collectées lors de la mort des bovins ajouterait notamment une grande valeur au dispositif existant. Contrairement à la santé humaine où l'accès à cette information en temps réel est rendu difficile par les problématiques de confidentialité (les circuits d'information sur les cause des décès et sur l'identité des défunts sont séparés et aujourd'hui seul 5% des décès en France font l'objet d'un certificat électronique permettant l'enregistrement en temps réel de la cause de décès), de simples évolutions pourraient permettre de collecter de manière exhaustive et rapide les causes de mortalité bovine. Cette information pourrait être mise à profit à la fois dans les retours d'information proposés aux différents acteurs de la santé animale, mais aussi pour la détection précoce d'anomalies.

Les différentes analyses menées ont montré que la mortalité bovine présentait des caractéristiques, notamment temporelles, très variables selon le type de production considéré et, à type de production identique, selon la région considérée. Le travail que nous avons réalisé était essentiellement descriptif et nous n'avons pas cherché à expliquer l'origine des disparités mises en évidence même si certains de nos travaux, notamment sur l'étude des causes de mortalité, ont apporté et apporteront d'autres éléments d'interprétation.

Les principales caractéristiques du niveau de référence de la mortalité bovine ayant été décrits, le prochain chapitre est dédié à la recherche et l'identification d'excès de mortalité.

CHAPITRE 3. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION D'EXCES DE MORTALITE

Cette troisième partie est consacrée à l'identification et la quantification d'excès de mortalité en regard du niveau de référence défini dans le précédent chapitre. Nous analysons d'abord des données réelles pour estimer rétrospectivement les conséquences sur la mortalité de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine (FCO), une maladie vectorielle qui a durement touché le cheptel bovin français en 2007 et 2008. Nous présentons ensuite une méthode visant à identifier des regroupements d'unités spatiales présentant des augmentations inhabituelles de mortalité, et évaluons ses performances pour détecter des foyers d'une maladie infectieuse dont nous avons simulé la propagation dans le cheptel bovin.

1 Approches rétrospectives et prospectives

La plupart des agences de santé publique des pays développés collectent et analysent depuis longtemps des données sur la mortalité humaine. Jusqu'à présent, ce suivi se réalisait sur un pas de temps relativement long car l'objectif était de surveiller l'évolution des maladies chroniques et d'orienter les programmes de santé. Ces usages ne justifiaient pas une collecte et analyse fréquentes des données.

Mais comme nous l'avons évoqué précédemment, la vague de chaleur de l'été 2003 a bouleversé ce schéma et conduit les agences sanitaires européennes à mettre en place des dispositifs plus réactifs, destinés à lancer des alertes précoces en cas d'augmentation inhabituelle de mortalité. Un projet européen, baptisé EuroMoMo (European Mortality Monitoring) et réunissant vingt Etats membres, a même été lancé en 2008 afin de promouvoir et mettre en œuvre la surveillance hebdomadaire de la mortalité humaine en Europe, et ainsi pouvoir détecter d'éventuelles menaces sanitaires telles que de grandes épidémies, des évènements climatiques extrêmes, ou la dissémination délibérée ou accidentelle d'agents chimiques ou biologiques (Gergonne, 2010; Kanieff et al., 2010).

Nous avons vu dans les précédents chapitres de cette thèse que malgré l'existence de systèmes d'information performants, notamment dans les Etats membres de l'Union européenne, les dispositifs de surveillance de la mortalité sont rares en santé animale, qu'ils soient dédiés à la surveillance à long terme ou à l'alerte précoce.

Les études que nous avons menées avaient pour but d'identifier les usages que pourraient avoir un dispositif de surveillance réactif de la mortalité bovine.

Nous avons d'abord étudié l'intérêt d'un tel dispositif pour estimer l'impact d'évènements sanitaires identifiés mais à la dangerosité inconnue ou mal connue, puis nous avons étudié, par simulation, la possibilité de détecter des menaces sanitaires par leur impact sur la mortalité bovine.

2 Evaluation de l'impact sur la mortalité d'un événement identifié

La surveillance réactive de la mortalité peut permettre d'évaluer rapidement l'impact d'événements identifiés mais dont la dangerosité est inconnue ou mal connue, et ainsi permettre de réagir et communiquer rapidement sur le risque (ou son absence).

2.1 Expériences des dispositifs de surveillance de la mortalité humaine

Depuis juillet 2004, l'Institut de veille sanitaire (InVS) a mis en place une surveillance quotidienne de la santé de la population française à partir du système de surveillance non spécifique SurSaUD®, Surveillance sanitaire des urgences et des décès (Caillère et al., 2012). Dans ce dispositif, la mortalité n'est pas l'indicateur le plus précoce pour détecter des événements attendus ou inattendus : les épidémies de grippe saisonnière et les vagues de chaleur produisent d'abord des signaux sur la morbidité (augmentation des visites aux urgences), puis la semaine suivante sur la mortalité (Josseran et al., 2006). Pourtant, la surveillance de la mortalité est restée une composante essentielle du système, parce qu'elle produit des informations immédiatement disponibles et fiables sur l'impact (ou l'absence d'impact) de ces événements.

Le système a notamment permis d'évaluer rapidement les excès de mortalité liés à la vague de chaleur survenue en 2006 : du 11 au 28 juillet 2006, une surmortalité estimée à environ 2 100 décès a en effet été observée sur l'ensemble de la France métropolitaine (Fouillet et al., 2008). Toutefois cette surmortalité était inférieure d'environ 4 400 décès à la valeur attendue si la vulnérabilité de la population métropolitaine aux vagues de chaleur était restée identique à celle de la période 1975-2003. Cette réduction de la vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur a été interprétée comme le résultat i) de la prise de conscience des risques liés aux fortes chaleurs par la population depuis 2003 ; ii) des mesures de prévention mises en place par les pouvoirs publics ; iii) du système de surveillance et d'alerte des vagues de chaleur mis en place depuis 2004 (Fouillet et al., 2008). Ainsi la surveillance de la mortalité a permis dans ce cas non seulement d'évaluer l'impact d'un événement, mais aussi de produire des données semblant confirmer l'efficacité des mesures de prévention mises en place.

Au Royaume-Uni et au Portugal, les systèmes de surveillance des décès ont eux aussi permis d'évaluer rapidement l'impact de la canicule de 2003 (Johnson et al., 2005; Nogueira et al., 2005), même si les estimations préliminaires produites avant la fin de la vague de chaleur étaient parfois sous estimées (Johnson et al., 2005).

Les dispositifs de surveillance de la mortalité humaine ont aussi prouvé leur utilité lors des épidémies de grippe et plus particulièrement pendant la pandémie d'influenza A (H1N1), dont les possibles conséquences causaient une grande inquiétude dans la population. Les résultats produits par les dispositifs de surveillance de la mortalité ont permis de rassurer la population et les pouvoirs publics en montrant que l'impact de la pandémie sur la mortalité était limité. En effet dès février 2010, soit quelques semaines après la deuxième vague épidémique, le système EuroMoMo publiait une étude (Mazick et al., 2010) indiquant que la mortalité notifiée en Europe pendant la pandémie d'influenza n'avait pas atteint les niveaux habituellement observés lors des épidémies de grippe saisonnière, même si des morts excédentaires étaient observées chez les 5-14 ans. Les résultats de surveillance rapidement

diffusés par les dispositifs de surveillance nationaux montraient eux aussi une surmortalité aux caractéristiques démographiques atypiques, avec notamment une population touchée plus jeune, mais dont l'ampleur était limitée (Castilla et al., 2010; Josseran et al., 2010a).

Dans le cas de la pandémie grippale, les dispositifs de surveillance de la mortalité ont permis de rassurer la population et les pouvoirs publics. Parfois, ces dispositifs révèlent au contraire un impact plus important que celui qui avait été perçu. Les dispositifs de surveillance de la mortalité humaine de douze pays européens ont par exemple identifié en février et mars 2012 des excès de mortalité chez les personnes âgées (Mazick et al., 2012). En France, un excès de près de 6 000 décès (+13%), distribué de façon hétérogène entre les régions, a été estimé entre le 6 février et le 18 mars 2012 (Fouillet et al., 2012). L'origine de cet excès de mortalité, similaire à celui observé lors de l'hiver 2008-2009, n'est pas encore totalement élucidée. Il pourrait être dû au retour du virus de l'Influenza A (H3N2), combiné aux effets de la vague de froid survenue au cours de l'hiver (Fouillet et al., 2012; Mazick et al., 2012). L'épidémie de grippe et la vague de froid survenues au cours de l'hiver 2012 n'avaient pas créé d'inquiétude particulière dans la population, et l'augmentation de la mortalité n'avait pas été identifiée avant l'analyse des données de mortalité.

Ainsi, les dispositifs mis en place en santé humaine ont produits des informations sur lesquelles les gestionnaires du risque ont pu s'appuyer pour prendre les décisions adéquates face à des événements sanitaires à la dangerosité difficile à évaluer, tels que les vagues de froid ou de chaleur et les épidémies grippales.

2.2 Présentation des études

Il n'existe pas actuellement de dispositif de surveillance de la mortalité en santé animale équivalents à ceux mis en place en santé humaine. Pourtant, la population bovine a été l'objet ces dernières années de plusieurs crises sanitaires qui auraient probablement été mieux gérées si des données sur leur impact sur la mortalité avaient été disponibles.

Les années 2007 à 2009 ont notamment été marquées par la propagation en Europe de l'épizootie de FCO. Le sérotype 8 du virus a été détecté pour la première fois aux Pays-Bas en août 2006 puis s'est rapidement propagé aux pays voisins (Toussaint et al., 2007). Il a infecté en France plus de 20 000 élevages de ruminants en 2007 et plus de 30 000 en 2008. Alors qu'au cours des épizooties précédentes impliquant le sérotype 8, la maladie s'exprimait surtout chez les ovins, cet épisode a été caractérisé par une atteinte également des bovins (Toussaint et al., 2007), qui ont présenté des signes cliniques non spécifiques ainsi que des lésions des muqueuses, des troubles locomoteurs et des troubles de la reproduction (Thiry et al., 2006; Elbers et al., 2008a; Le Gal et al., 2008; Dal Pozzo et al., 2009).

L'ampleur de la mortalité associée à l'épizootie chez les bovins a été difficile à évaluer pendant l'expansion de la maladie car les différentes informations provenant du terrain étaient très contradictoires. Les estimations réalisées ont rapporté des taux de mortalité extrêmement variables d'un élevage à l'autre et d'une étude à l'autre (Szmaragd et al., 2007; Elbers et al., 2008b; Pouilly et al., 2008; Mounaix, 2009). En raison de la propagation rapide de la maladie, de son expression clinique peu spécifique et des conséquences socio-économiques de la déclaration d'un foyer, l'identification des élevages infectés s'est révélée difficile. La méconnaissance du statut réel des élevages, qui pourrait être à l'origine de biais de classement, limite l'intérêt des estimations fondées sur des approches classiques de type cas/témoins....

Nous avons donc étudié la mortalité bovine au cours de cette épizootie en adoptant une approche similaire à celles employées en santé humaine, c'est à dire en comparant les fluctuations de la mortalité dans la population surveillée au cours de l'épizootie aux fluctuations dans cette même population pendant la période précédant l'épizootie. Nous avons mené ces études de manière rétrospective, mais en utilisant des données qui étaient disponibles à l'époque. Ainsi les évaluations menées auraient pu l'être très rapidement après l'apparition de maladie.

Nous avons tout d'abord étudié la mortalité dans un département particulièrement touché par la maladie, le département de la Meuse, dans lequel les données recueillies sur les foyers étaient de très bonne qualité, puis nous avons appliqué une méthode similaire dans chaque département français afin d'estimer la surmortalité observée dans l'ensemble du cheptel bovin français de 2007 à 2009.

L'étude de la mortalité dans le département de la Meuse lors de l'arrivée de la FCO a fait l'objet d'un article (Article 3) intitulé « Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: application to an outbreak of Bluetongue serotype 8 » paru dans le journal *Epidemics* en décembre 2010 (Perrin et al., 2010c).

L'étude de la mortalité à l'échelle nationale, présentée au paragraphe 2.4, a quant à elle fait l'objet d'une présentation orale lors des journées de l'AEEMA 2010 (Perrin et al., 2010a) et d'un article publié dans le journal de cette association, *Epidémiologie et santé animale*, en mai 2010 (Perrin et al., 2010b), ainsi que d'une communication orale lors de la conférence du Réseau français pour la santé animale en mars 2010 (Perrin, 2010) et d'un article dans le *Bulletin épidémiologique de l'Afssa* (ancien nom de l'Anses) en mars 2010 (Perrin et al., 2010d).

2.3 Article 3 : Utilisation du registre national d'identification bovine pour estimer la surmortalité lors d'une épizootie : application à un foyer de fièvre catarrhale ovine sérotype 8

Epidemics 2 (2010) 207–214



Contents lists available at ScienceDirect

Epidemics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/epidemics



Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8

Jean-Baptiste Perrin ^{a,b,*}, Christian Ducrot ^b, Jean-Luc Vinard ^a, Eric Morignat ^a, André Gauffier ^c, Didier Calavas ^a, Pascal Hendrikx ^d

^a Epidemiology Unit, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (Anses), 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France

^b Animal Epidemiology Unit, UR346, INRA, 63122, St Genès Champanelle, France

^c General Food Directorate, 251, rue de Vaugirard-75732 Paris Cedex 15, France

^d Scientific Directorate for Laboratories, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (Anses) 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 July 2010

Revised 8 October 2010

Accepted 8 October 2010

Keywords:

Mortality

Cattle

Bluetongue

Syndromic surveillance

ABSTRACT

National Cattle Registers have been widely used to examine animal movements and their role in disease transmission, but less frequently for other epidemiological applications. Our study shows how routinely collected identification data can be used to evaluate the population impact of an epidemic in cattle and to derive an indirect estimate of the associated mortality. We adapted a method developed by Human health agencies, based on the modelling of historical mortality fluctuations, to analyze the evolution of mortality in a cattle population subjected to a Bluetongue serotype 8 (BT8) outbreak. Between 01/07/2007 and 01/07/2008, 21,017 cattle died in the considered population whereas 16,691 deaths were expected according to the model. 43% of the 4326 extra deaths were found in calves less than 7 days of age, but excess mortality was found in each age group. The temporal distribution of extra-deaths, described at a weekly scale, suggests that they were related to the BT8 epidemic. The presented method could be an appreciable tool for estimating the global burden of epidemics since it is based on data already routinely collected in each European Member State. This study was conducted retrospectively but considering the promptness of the notification system, the method could be used to monitor the evolution of epidemics in near-real time.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

Introduction

Since Regulation (EC) No. 1760/2000 of the European parliament, each Member State has been required to set up a computerized database for the identification and registration of bovine animals. Animal owners are required to report to their National Cattle Register all movements to and from the holding and all births and deaths of animals on the holding, along with the dates of these events. These databases have been widely used to examine animal movements and their role in disease transmission, but less frequently for other epidemiological applications (Donnelly et al., 1997; Ferguson et al., 1997; Ferguson and Donnelly, 2003). Our study shows how routinely collected cattle identification data can be used to evaluate the population impact of an epidemic and to derive an indirect estimate of the associated mortality.

Our purpose was to describe the mortality in a cattle population before, during and after a Bluetongue serotype 8 (BT8) episode. We chose to study a BT8 outbreak to bring more information about the

population impact of this disease, which is still under discussion. BT8 was detected for the first time in the Netherlands in August 2006 and then spread rapidly across neighbouring countries (Toussaint et al., 2007; Carpenter et al., 2009). In France, more than 15,000 holdings were found to be infected in 2007 (Coroller et al., 2008) and 30,000 in 2008. Whereas BT8 was more specifically observed in sheep, this outbreak also severely affected cattle (Toussaint et al., 2007), in which non-specific clinical signs (hyperthermia, depression, weight loss, production collapse, etc.), mucosal lesions, locomotive and reproductive disorders were reported (Thiry et al., 2006; Elbers et al., 2008b; Le Gal et al., 2008; Dal Pozzo et al., 2009). Despite the need for information about the impact of this epidemic, BT8-associated mortality in cattle has yet to be explicitly quantified. The rapid spread of the disease, its often non-specific clinical expression, and the reluctance to declare an outbreak because of the socioeconomic consequences made it impractical to diagnose all infected herds and consequently to estimate the population impact of the epidemic directly on the basis of case data.

Nevertheless the global mortality associated with a health event can be estimated through other kinds of approach. Several methods based on the modelling of historical mortality fluctuations have been developed by Human health agencies (Serfling, 1963; Simonsen et al., 1997; Thompson et al., 2003; Foullet et al., 2006; Rey et al., 2007;

* Corresponding author. Epidemiology Unit, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES), 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France. Tel.: +33 4 78 61 44 17; fax: +33 4 78 61 91 45.

E-mail address: jean-baptiste.perrin@anses.fr (J.-B. Perrin).

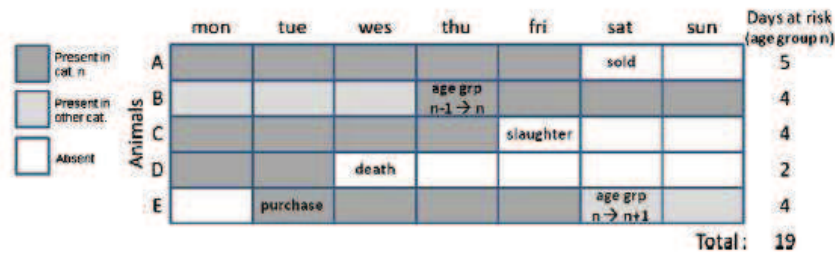


Fig. 1. Weekly number of animal-days at-risk calculation for an age group *n*. Every animal movement, either entry (birth, purchase) or exit (sale, slaughter, death) occurring over the week is taken into account, as well as individual shifts of age group. Number of days of presence was first calculated for each individual and then summed to obtain the total number of cattle-days for the age group *n*. Dates of age group shift correspond to the birth date plus the lower limit of the age group definition (in days). First day of presence (birth or acquisition) counted for 1 day while day of death or day of any other kind of exit counted for zero participation day. Animals that were born and died the same day participated for one animal-day.

Nogueira et al., 2009). Unlike direct methods for estimating an attributable risk of death among diagnosed cases, these methods are not based on a comparison between two populations but compare the mortality in the same population at different times.

We adapted this approach in order to quantify the excess mortality in cattle from 2007 to 2009 in the Meuse department, located in northeast France. This department, where the cattle population is large and economically important (mean population was 240,000 cattle in 2009, with 51.5% of dairy cattle and 48.5% of beef cattle), was chosen as an example for the study because it was highly affected by BT8 in 2007–2008, and because unlike the case in other departments, the outbreak notifications had been properly computed from the beginning of the epidemic and were easily available. We used the identification data collected by the National Cattle Register from 2003 to 2006 to model the baseline mortality in the Meuse department according to the seasonality characterizing cattle mortality (Agger and Willeberg, 1991; Faye and Pérochon, 1995; Menzies et al., 1995; Norgaard et al., 1999; Thomsen et al., 2004). The fitted model allowed us to predict the number of deaths retrospectively by age, production type (dairy or beef cattle) and week, from 2007 to 2009. The expected number of deaths was afterwards compared to the number of deaths actually observed in order to distinguish extra deaths from the baseline cattle mortality. Finally, considering the temporal distribution of the extra deaths, we discuss the possible cause-and-effect relationship between the epidemic and the excess mortality.

Materials and methods

Data management

Data were taken from the French National Cattle Register (*Base de Données Nationale d'Identification*). Mandatory registrations include data about cattle herds (identification number, postcode), animals (identification number, birth date, sex and breed) and animal movements (animal identification number, herd identification number, date, movement type [entry or exit], reason for entry [birth or purchase] or exit [death, slaughter or transfer]). Data were gathered since 2001 but we selected for the study only cattle that had lived in the Meuse department since 01/01/2003, as we considered that the notification system was only fully operational from this date.

Mortality was described among 10 population subgroups defined according to age and production type. One of the two production types (beef or dairy cattle) was attributed to each animal according to its breed, and five age groups (under 7 days of age, from 7 days to 1 year, 1 to 2 years, 2 to 5 years, more than 5 years) were defined according to production criteria.

The event of death was defined as an unplanned death, whether natural or by euthanasia. Mortality was consequently estimated considering only the "death" notifications and not "slaughter" notifications.

The 125,904 deaths notified from 01/01/2003 to 31/12/2009 were aggregated in order to obtain the weekly number of deaths for

each subgroup. A weekly timescale was adopted to bypass the strong and irregular weekday effect observed on the daily time series and facilitate temporal modelling. Indeed, daily time series of death notifications showed a clear weekday effect, most probably because some farmers habitually notify the date of collection of the dead animal rather than the real date of death (most rendering plants collect cadavers only on workdays).

The 1,128,157 movements notified over the same period were used to compute the denominators corresponding to the weekly number of deaths. An algorithm was written to calculate the number of cattle-days at risk of dying (i.e. all the living animals) by week, production type and age group. The algorithm took into account all individual movements (entry or exit) and age-group changes at their exact date of occurrence. The principle of the computation is detailed in Fig. 1. This denominator is hereafter simply called population.

In parallel to this population and mortality data, the weekly number of BT8 outbreak declarations from 2007 to 2009 in the Meuse department was provided by the Meuse Veterinary Office. Farmers were required to report every clinical suspect case to their veterinarian. At the beginning of the epidemic, BT8 outbreaks were only declared once biological tests had confirmed the infection. But after the onset of the epidemic, in infected zones, the observation of BT8 clinical signs by veterinarians could be considered sufficient to confirm the infection. In the present paper, a BT8 outbreak is defined as a herd where a BT8 case has been laboratory confirmed for the first time.

Data were managed using Toad for MySQL¹ and analysis was carried out using R software (R Development Core Team, 2005).

Mortality incidence rate modelling

The mortality incidence rate (MIR), λ , also called incidence density or force of mortality, is defined as follows (Jougla, 1997; Bouyer et al., 2004):

$$\lambda_t = m_t / N_t$$

where *m* is the number of deaths over the period *t* and *N_t* the corresponding number of animal-days at risk of dying.

We modelled the fluctuations of MIR over the calibration period (2003–2006) by population subgroups using a Poisson regression with over-dispersion. Instead of fitting ten specific models (one for each population group), we fitted a single model to the whole dataset. The model predicted the mortality according to the at-risk population (as offset) and the explanatory variables (time, age group and production type).

Various models assuming different parametric assumptions regarding the trend (no trend, linear trend, quadratic trend) and seasonality (no seasonality, annual and half-yearly periodicity) were tested. The formula of linear predictors for the most complete model

¹ <http://www.quest.com/toad-for-mysql/>.

(including a quadratic trend, annual and half-yearly periodicities) could be written as follows:

$$A \cdot B \cdot (T + T^2 + \sin(2\pi \times T / 52) + \cos(2\pi \times T / 52) + \sin(2\pi \times T \times 2 / 52) + \cos(2\pi \times T \times 2 / 52)) \quad (1)$$

with A standing for a set of 5 dummy variables representing the age group, B a dummy variable representing the production type and T the time point ranging from 1 (the first week of 2003) to 209 (the last week of 2006). Interactions between time and group covariates were introduced to allow temporal patterns to be different in each population group, as suggested by a preliminary descriptive analysis of the data.

Moreover, to reduce the effect of past aberrations in the calibration period, we performed a second round of estimation for the selected model, weighting the observations by the inverse of their residuals, as proposed by Farrington et al. (1996). Reweighting was conducted using the R “surveillance” package (Höhle, 2007).

Model selection

Considering the predictive use of the model, model selection was not only conducted according to criteria for goodness of fit (corrected Akaike Information Criterion, AICc) but also criteria measuring the accuracy and error of the prediction (Root Mean Squared Error of validation, RMSEv). AICc was preferred to AIC since the ratio of the number of observations to the number of parameters was below 40 for some models. RMSEv was computed using two strategies, leading respectively to RMSEv (1) and RMSEv (2).

RMSEv (1) measured the ability of the models to predict within their calibration period (Snee, 1977):

- the calibration period was divided into 2 subsets (before and after 31/12/2004);
- one model was fitted on each subset of the calibration period;
- the 2 models were used to predict values for the subset not used to fit them;
- the root mean squared difference between the observations and the predicted values was computed.

RMSEv (2) measured the ability of the models to predict outside their calibration period. Models were fitted to the whole calibration period and used to predict the expected number of deaths during a validation period, defined as the aggregation of the first semester 2007 and second semester 2009. This period was taken as a validation dataset since it corresponds to a 1-year period that could be considered as epidemic-free. RMSEv (2) corresponded to the root mean squared difference between the observations and the predicted values for this validation period.

In either case, the lower the criterion, the better the predictive performance of the model.

Computing the expected number of deaths

We used the model fitted to the 2003–2006 data to predict MIR over the 2007–2009 period, by week and subgroup, and applied the predicted MIR to the corresponding population. We obtained the expected weekly number of deaths, i.e. the numbers we would expect if MIR had kept the same fluctuations in 2007–2009 as during the calibration period 2003–2006.

Prediction intervals were defined as intervals in which there was a 95% probability of observing the weekly number of deaths during the test period (2007–2009) if MIR had followed the same fluctuations observed during the calibration period. Prediction intervals were computed according to the method proposed by Farrington et al. (1996): a (2/3)-power transformation was first applied to induce approximate symmetry in Poisson counts, a symmetric interval was

then calculated on this scale and the results were finally back-transformed onto the original scale. This transformation is intended to keep the Type I error constant over a broad range of expected values.

Comparison of expected and observed mortality

The expected number of deaths (E) was compared with the number of deaths actually observed (O). The difference was quantified by two indicators:

- excess mortality (O-E), which gives the crude mortality rate exceeding the expected value;
- mortality ratio (O/E), which gives information on the relative increase of mortality from the expected value.

Mortality ratios below one and negative excesses indicate a deficit of mortality compared with the expected value.

The evolution of the difference between observed and expected values was compared graphically to the evolution of the number of outbreak declarations in order to discuss the possible causal relationship between the epizootic and the excess mortality. Moreover, correlation between the presence of significant excess mortality and the number of herds notified in a given week was tested by the Wilcoxon test, and correlation between the absolute difference of mortality (i.e. O-E) and the number of herds notified in a given week was tested by Pearson's moment correlation.

Estimation of the uncertainty for summed results

The expected and observed numbers of deaths were first computed for each week and each subgroup, and were afterwards summed to obtain the expected and observed numbers of deaths for the entire population and for the one-year period from 01/07/2007 to 01/07/2008, considered as the main epidemic period. We computed the uncertainty of the sum of the expected values by applying the Delta method (Oehlert, 1992), given the mean and the covariance matrix of the parameters yielded by the model.

Results

Model validation and selection

Values for the 3 criteria measured to select the model are represented in Table 1. AICc values were close for the three models. Model c (quadratic trend) had the best AICc but gave considerably higher predictive scores than the other models and was consequently eliminated. Model b (linear trend) and Model a (no trend) had close AICc values but we finally chose Model a since it had the best results for both of the criteria measuring prediction accuracy.

Diagnostic plots validated the hypotheses advanced to build the model. Pearson residuals were randomly distributed around the fitted values, and the normal quantile–quantile plot showed that their distribution could be considered as normal.

Weekly predictions for the entire population

The weekly time series of the number of deaths observed in the Meuse department from 01/01/2003 to 31/12/2009 is shown in Fig. 2a.

Table 1
Values of AIC, RMSEv (1) and (2) (as defined in Materials and methods section) for three models.

	AIC	RMSEv (1)	RMSEv (2)
Model a (no trend)	13635	5.04	7.14
Model b (linear trend)	13572	7.53	7.98
Model c (quadratic trend)	13546	42.90	17.30

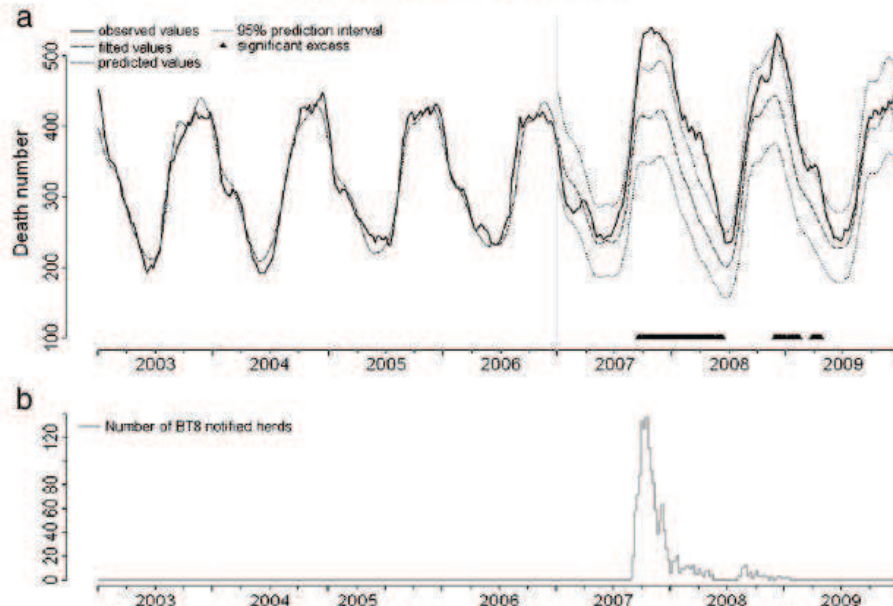


Fig. 2. a. Observed and predicted weekly number of cattle deaths for the entire population, in the Meuse department (France), 2003–2009. b. Weekly number of BT8 outbreak notifications in the Meuse department (France), 2003–2009.

Fitted values (2003–2006) and predicted values (2007–2009) are also represented. Predicted values exceeding the 95% prediction intervals are highlighted by a triangle.

Until September 2007, the observed number of deaths remained below the upper limit of the prediction interval (Fig. 2). At the beginning of 2007, the observed number of deaths was even lower

than the predicted number. But from September 2007 until mid-2008, the weekly number of deaths observed in the Meuse department was constantly above the upper prediction limit. After a short period during which the weekly number of deaths returned to within the prediction limits (whilst remaining above the mean prediction value), the mortality increased significantly a second time

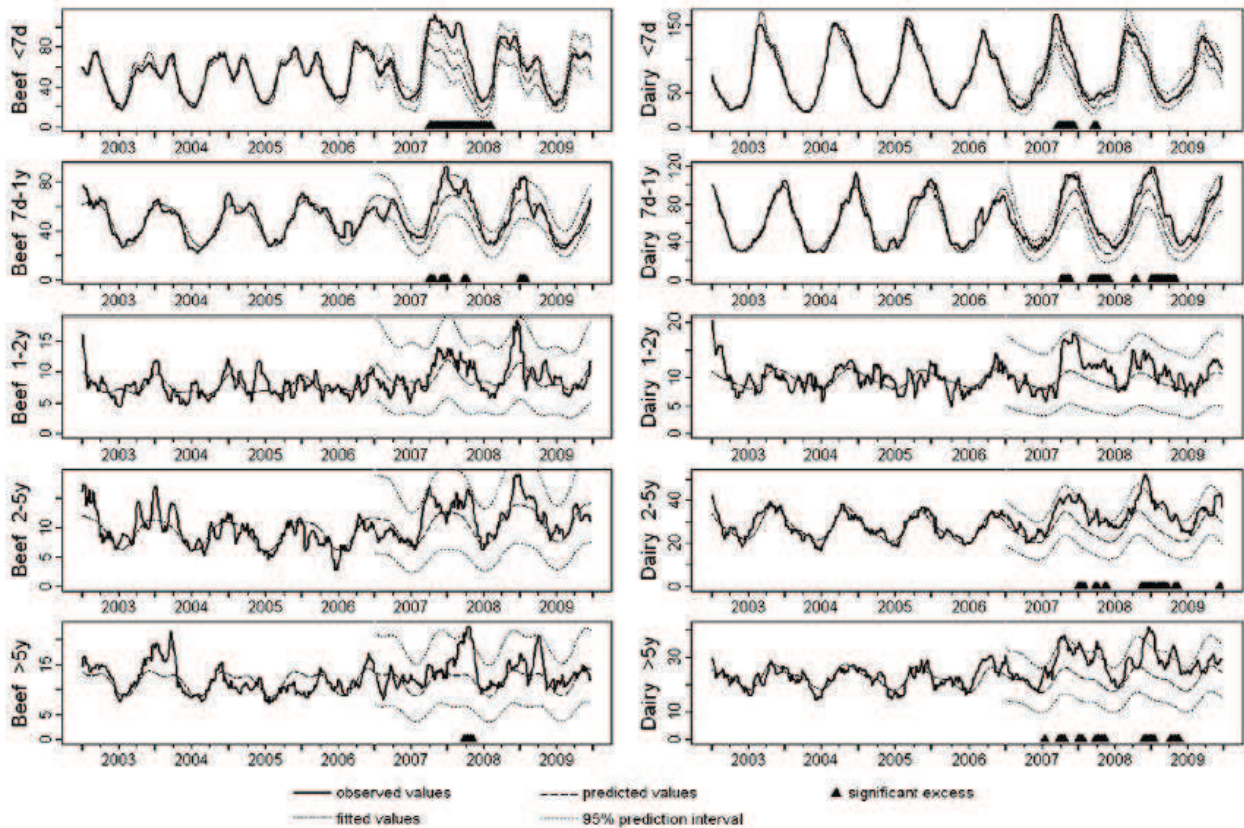


Fig. 3. Observed and predicted weekly number of cattle deaths by age group in the Meuse department (France) in beef (left) and dairy cattle (right), 2003–2009.

from December 2008 to April 2009. Finally the weekly number of deaths returned to within the prediction interval limits during the second semester 2009.

Weekly predictions in subgroups

Weekly numbers of deaths observed in each subgroup were in line with prediction over the first semester 2007, but significant excesses appeared from September 2007 (Fig. 3). Calves, and especially beef calves under 7 days of age, constituted the first and most severely affected group. The model identified significant weekly excess mortality in older groups (more than 2 years old) but not in animals from 1 to 2 years, irrespective of the production type.

Compared evolution of the number of notified herds and the excess mortality

Fig. 2b. shows the weekly number of herds found to be infected by BT8 in the Meuse department. The first outbreak was detected on August 31, 2007. From this date, the number of outbreak declarations rose dramatically and reached a peak in November 2007 (about 140 declarations for the week from November 15 to 22, 2007). It gradually decreased thereafter and no more infected herds were detected from June to August 2008. A second wave of outbreak declarations, much smaller than the first, occurred in the autumn of 2008. It is important, however, to underline that farms that notified an outbreak in 2007 (i.e. more than 70% of the cattle farms in the Meuse department) were not required to declare new outbreaks in 2008.

The period before September 2007, during which the weekly observed number of deaths was close to the expected number, corresponds to the period anterior to the first outbreak declaration. The weekly expected number of deaths began to be constantly and significantly above the upper prediction limit a few weeks after the beginning of the spread of the epidemic in the department. Excess mortality reached a first peak in March 2008, four months after the first peak of BT8 outbreak declarations. The second period of excess mortality occurred during the winter of 2008–2009, several weeks after the second wave of outbreak notifications. In late 2009, no more outbreaks were notified and the expected number of deaths remained within the prediction interval.

Results of the Wilcoxon test and Pearson's moment correlation confirmed the positive correlation between the number of notified herds in a given week and the presence of excess mortality (*p* values were respectively 9.79e-09 and 4.82e-12 for these two tests).

Observed and expected mortality between 01/07/2007 and 01/07/2008

Summed results (population figures, observed and expected number of deaths, mortality ratio and excess) over the 1-year period 01/07/2007–01/07/2008 are given by age group and production type

in Table 2. Between 01/07/2007 and 01/07/2008, 21,017 cattle died in the Meuse department whereas 16,691 were expected, according to the reference period. Forty-three percent of the 4326 extra deaths were found in calves less than 7 days of age, but excess mortality was found in each category. The greatest relative increases were observed in adults of 2 to 5 years (O/E = 1.28) and over 5 years (O/E = 1.38) for dairy cattle, and in calves under 7 days of age for beef cattle (O/E = 1.43). The smallest relative increase was observed in beef cattle from 1 to 2 years (O/E = 1.14). The mortality ratio for the entire cattle population of the Meuse department was 1.26 over the period of interest.

The number of extra deaths that we identified between July 2007 and July 2008 in relation to the mean population over the same period reached 1.81% [1.43%: 2.19%] for the entire population, and 1.03% [0.75%: 1.30%] when animals under 7 days of age were omitted.

Discussion

The analysis of routinely collected cattle identification data allowed us to describe the excess mortality occurring in the cattle population of the Meuse department, from 2007 to 2009. Thanks to a four-year calibration period (2003–2006), we modelled the weekly fluctuations of mortality incidence rates for 10 population subgroups, defined according to age and production type. We then used the model to forecast the expected mortality over the study period (2007–2009) and compared it to the observed mortality. We identified excess mortality in each population subgroup. According to the temporal distribution of the excess mortality over the study period, it is very likely that the excess mortality was due to the BT8 epidemic.

The approach we applied for estimating excess mortality relies on the validity of the forecast yielded by the model. We fitted the model to a period of 4 years (2003–2006) since this was the largest reliable dataset available anterior to the epidemic. We considered that this period reflected the baseline mortality because no major health event had been identified in the department during this period. The procedure we applied (Farrington et al., 1996) was sufficient from our point of view to limit the effect of past aberrations (anomalous mortality peaks) that unreported health events could have caused.

For the approach to be valid, it was essential to select the most appropriate model. We chose to base the model selection not only on criteria for goodness of fit (AICc) but also on criteria measuring the accuracy and error of prediction: the ability of the models to predict within their calibration period was evaluated by RMEv (1) and outside the calibration period by computing RMSEv (2). According to these three criteria, Model a (without trend) was selected because it had the best scores for both predictive criteria. However Model b (with trend) showed similar performance. The sensitivity of the estimate to the trend effect still remained relatively limited since excess mortality estimated using Model b would have been 3386 deaths for the entire population instead of 4326 with the selected model, i.e. a relative

Table 2
Cattle population, observed (O) and expected (E) cattle mortality by age group and production type in the Meuse department between 01/07/2007 and 01/07/2008.

Production type	Age group	Population (cattle-days)	O	E*	O-E	O/E
Beef cattle	< 7 d	324,769	3,921	2,744 [2,633 : 2,860]	1177	1.43
Beef cattle	7 days–1 year	13,577,058	3,179	2,651 [2,531 : 2,773]	528	1.2
Beef cattle	1–2 years	9,380,690	540	475 [427 : 525]	65	1.14
Beef cattle	2–5 years	10,648,021	654	536 [486 : 589]	118	1.22
Beef cattle	> 5 years	8,215,083	771	610 [556 : 665]	161	1.26
Dairy cattle	< 7 days	279,806	4,396	3,698 [3,558 : 3,840]	698	1.19
Dairy cattle	7 days–1 year	11,894,318	3,604	2,967 [2,806 : 3,131]	637	1.21
Dairy cattle	1–2 years	10,464,190	632	498 [449 : 549]	134	1.27
Dairy cattle	2–5 years	15,357,071	1,775	1,389 [1,304 : 1,475]	386	1.28
Dairy cattle	> 5 years	7,055,367	1,545	1,123 [1,203 : 1,044]	422	1.38
Total		87,196,373	21,017	16,691	4,326	1.26

* with 95% prediction interval.

increase of 23% instead of 26%. Nevertheless the predictive performance of the model may be improved by taking into account other relevant covariates, as for example meteorological indicators whose influence on the cattle baseline mortality has been demonstrated (Stull et al., 2008; Crescio et al., 2010).

The method we implemented only enabled us to distinguish extra mortality from the estimated mortality baseline but not to identify the reasons for it. However, as we limited the study to a relatively small area, it is possible to review and evaluate the other phenomena that could also have contributed to the increase of mortality.

It might be thought that changes in the demographic dynamic could explain the increased mortality. Control measures against the BT8 epidemic considerably modified the population dynamic. When infection was suspected on a farm, every movement from the latter was forbidden. Once the cases were confirmed, three regulatory zones were defined around the infected farms (with perimeters of 20, 70 and 100 km for the forbidden, protection and surveillance zones respectively). All cattle movements inside the same zone or to a less favourable zone were allowed, whereas other movements were restricted (restrictions depended on the type of animals and their destination—slaughter or fattening). Export from regulated zones to other countries was heavily restricted, which consequently increased the number of slaughters in these zones (Loirette-Baldit, 2008).

Other phenomena (such as the raising of milk production quotas in 2007 which delayed the culling of old dairy cows) may also have affected the population dynamic. But since the model and its predictions took into account the fluctuations of the population on a weekly scale, the increase in the number of deaths we identified reflects a real increase of mortality incidence rate, and cannot be attributed to an increase of at-risk population.

The number of death notifications could also have been increased artificially because of another type of administrative measure: from 05/10/2007 to 18/07/2008 in France, every death of cattle related to BT8 entitled farmers to financial compensations (Botrel and Calavas, 2008). From this date, some farmers may have notified deaths of cattle that they would not otherwise have done (notably stillborns or very young calves), which could have increased the number of notifications of deaths, whereas the number of real deaths remained constant. However this possible bias seems negligible as cattle herds were regularly controlled by veterinary officers to make sure they respected the notification procedures.

Other events, such as the poor quality of the hay harvested that same year, may have played a role but since mortality started to increase concurrently with the rise of BT8 outbreak notifications (Fig. 2) and since about 80% of the herds of the department had been declared infected by the end of 2008, BT8 can reasonably be considered as the predominant cause for the excess mortality observed in the department.

In both beef and dairy cattle, the mortality ratios we estimated in animals over 2 years were higher than the mortality ratios observed in calves from 7 days to 2 years. This is consistent with the literature reporting that BT8 mainly affects mature or older cattle (Thiry et al., 2006; Darpel et al., 2007; Elbers et al., 2008c). On the other hand, the mortality we estimated in the group of calves from 0 to 7 days of age took into account abortions and stillbirths, which were reported as clinical signs observed in BT8 infected herds (Elbers et al., 2008a,b; Zanella et al., 2009a). In our study the mortality started to increase concurrently with the onset of the disease, and remained higher than the expected mortality for several months. Beyond the deaths reported during the acute phase of the disease, BT8 infection has often been associated with residual effects, especially in sheep (in 2007, 20–30% of the infected sheep showed persistent residual effects (Zanella et al., 2009b)). Long term consequences of the disease in cattle have not yet been properly described, but complications such as bacterial infection of affected tissues, pneumonia or metritis (Millemann et al., 2009), or other intercurrent diseases (Bosquet,

2007) have been reported. Some of the extra deaths observed in cows occurred during the calving season and could consequently correspond either to deaths of weakened animals in the post partum period (generally associated in cattle with a higher mortality risk), or to the culling after calving of animals whose production was deficient. The late peak of mortality in calves could be the consequence of anterior congenital BT8 infections, which can result (depending on the stage of gestation) in either fetal death or teratogenesis (hydranencephaly, emaciation incompatible with life) (Dal Pozzo et al., 2009).

Between 01/07/2007 and 01/07/2008, the main epidemic period in the Meuse department, we identified 4,326 more deaths than expected (16,991), i.e. a relative increase of +26%. This mortality increase is close to the one described in the Ardennes (a French department neighbouring the Meuse) and attributed to BT8. In this department, where the infection had been detected in 100% of the farms during the winter of 2007–2008 (Zanella et al., 2009a), the monthly number of cattle deaths was greater than the previous year from August 2007 (+12%) to April 2008 (+34%) (Pouilly et al., 2008). An excess of 5,244 deaths was estimated for the period from July 2007 to June 2008, which represented 2% of the average cattle population. Other local studies carried out in French departments (Aisne, Nord, Pas de Calais, Moselle and in the Burgundy region) reported similar mortality increases in 2007 in cattle (from +20% to +36%) attributed to the disease (Mounaix et al., 2008).

Under the hypothesis that all extra deaths could be attributed to the BT8 epidemic, the excess mortality we identified could be considered as an indirect estimate of the mortality risk associated with BT8. The number of extra deaths we identified between July 2007 and July 2008 in relation to the mean population over the same period reached 1.81% [1.43%: 2.19%] for the entire population, and 1.03% [0.75%: 1.30%] when animals under 7 days of age are omitted. At the end of 2006 the European Food Safety Agency (EFSA) reported a mean BT8-associated mortality (expressed as the number of BT8-associated dead animals at the time of clinical investigation in relation to the number of animals in the herd at the same time) of 0.3% in cattle herds from Belgium, France, Germany and the Netherlands (Elbers et al., 2007), but with considerable variation between herds: from 0 to 30% (91% of the herds did not report any deaths related to the disease). Mean mortality estimates for the period from 06/07/2007 to 31/08/2007, according to the reports sent to the World Organization for Animal Health (OIE), was less than 0.2% (Szaraghd et al., 2007). A retrospective survey carried out in the Ardennes department (a neighbouring department to Meuse) estimated BT8-associated mortality for the second semester 2007 of 0.18% [0.14: 0.23] (Le Gal et al., 2008). Another study concluded that the difference of mortality risk in France between infected and uninfected herds was only significant for dairy calves and dairy cows, respectively +1.5% and +0.6% (Mounaix, 2009).

Our results suggest therefore that the BT8-associated mortality risk could be higher than previously estimated. It is clear that our excess mortality estimate does not necessarily reflect the influence of the BT8 epidemic alone. As we previously mentioned, additional plausible reasons probably also contributed to the variations in mortality observed during the period studied. But on the other hand it is likely that the BT8-associated mortality risk in cattle was underestimated by the other existing studies.

Some of the estimates were clearly computed too soon after the onset of the infection and overlooked possible delayed deaths. For example, the analysis of the OIE reports on the period from 06/07/2007 to 31/08/2007 indicates a mortality risk of 0% for France (Szaraghd et al., 2007). This result, obtained at the very beginning of the epidemic in the country, is contradictory to our findings but also to those of the other studies conducted in France for the second semester 2007 (Le Gal et al., 2008; Mounaix, 2009).

Moreover, in our opinion, the estimates that relied on comparison between infected and uninfected populations were not suitable for

studying the consequences of the BT8 epidemic in France, due to the impracticality of diagnosing all infected individuals (and related deaths). The often non-specific clinical signs of the disease in cattle may indeed have led to underdiagnosis of the disease, particularly at the beginning of the epidemic when farmers and veterinarians were not familiar with BT8. The identification of infected herds was further complicated by the reluctance of some farmers to report suspect clinical situations, because they feared the anticipated social and economic consequences (Elbers et al., 2007). Recent results, indicating a strong similarity between the clinical signs observed in suspect animals confirmed as infected and those that were not so confirmed (Calavas et al., 2010), even cast doubt on the reliability of the biological confirmation of the infection.

Thus, even if the method we applied does not demonstrate causality in the estimate of excess mortality, we think it offers several appreciable advantages. Besides avoiding selection bias and dataset matching issues (since the population is compared to itself), it does not rely on laboratory tests but only on routinely collected data, which dramatically reduces the cost of its implementation.

The method could be a useful tool for estimating the overall impact of an epidemic or other type of health event (weather events, environmental of feed contamination, etc.), which can be easily applied to other cattle populations, as similar data are collected in each European Member State. The present study was carried out retrospectively but, considering the promptness of the notification systems (more than 80% of the notifications are transmitted within 7 days), the possibility of excess mortality could be assessed regularly in order to monitor the population impact of epidemics in near-real time. This would be the first step towards a veterinary syndromic surveillance system, i.e. a surveillance system based on the automated collection and analysis of health-related data that precede formal diagnosis. Similar epidemiological tools already exist in public health (Josseran et al., 2006) even if their relevance is still under discussion (Reingold, 2003). In livestock populations, mortality seems to be a relevant health indicator for monitoring certain epidemics (when the case fatality rate for the disease in question is not nil) and evaluating their impact, but its suitability for outbreak detection has yet to be demonstrated. Further work is needed to define the most appropriate spatial and temporal resolution of such a system according to the type and size of the event targeted, and to define appropriate alert thresholds, considering that the veterinary authorities have limited resources for conducting investigations.

Conclusion

Our findings provide elements to inform the debate about the consequences of BT8 in cattle, which are still poorly described. Our approach did not allow us to demonstrate the cause–consequence relationship between the disease and the increase of mortality but, because of the limits of direct estimates in the case of BT8 epidemic, we think that the information given by our approach might profitably be taken into account when discussing the consequences of this disease in cattle.

The method presented could be applied to other areas to investigate the possible role of BT8 epidemic in the increase of mortality. It could also be easily applied to the study of mortality related to other kinds of health event, since it only relies on data which are already routinely collected in all European countries.

Acknowledgments

Access to data was provided by the *Bureau de la Maîtrise d'ouvrage des systèmes d'information de l'alimentation* (BMOSIA) of the French Ministry of Agriculture. The authors would especially like to thank Pascal Deriu for his involvement.

The authors are also grateful to Grégoire Rey (Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès-INSERM) for his methodological support.

References

- Agger, J.F., Willeberg, P., 1991. Production and mortality in dairy cows from 1960–1990: time series analysis of ecological data. The 6th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, 357–360.
- Bosquet, G., 2007. Signes cliniques de FCO observés sur le terrain dans le Nord de l'Est de la France. *Bull. Group Tech. Vet.* 41, 4–8.
- Botrel, M.A., Calavas, D., 2008. Rapport technique : analyse du dispositif de surveillance 2007 de la fièvre catarrhale ovine (sérotype 8). AFSSA, Lyon, France, p. 74.
- Bouyer, J., Hémon, D., Cordier, S., Derriennic, F., Stücker, I., Stengel, B., Clavel, J., 2004. *Epidémiologie : principes et méthodes quantitatives*. Les Éditions Inserm, Paris, France, p. 498.
- Calavas, D., Légrand, R., Morignat, E., 2010. Typologie des signes cliniques de la FCO de type 8 chez les bovins et chez les ovins. *Nouveau Prat. Vét.* 3 (14), 7–14.
- Carpenter, S., Wilson, A., Mellor, P.S., 2009. Culicoides and the emergence of bluetongue virus in northern Europe. *Trends Microbiol.* 17 (4), 172–178.
- Coroller, F., Balenghien, T., Zanella, G., Durand, B., Bouillet, C., Zientara, S., 2008. Premier Bilan de l'épizootie 2007 de FCO à sérotype 8, en France. *Bull. Group Tech. Vet.* 45, 101–105.
- Crescio, M.L., Forastiere, F., Maurella, C., Ingravallo, F., Ru, G., 2010. Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Prev. Vet. Med.* doi:10.1016/j.prevetmed.2010.09.004.
- Dal Pozzo, F., Saegeman, C., Thiry, E., 2009. Bovine infection with bluetongue virus with special emphasis on European serotype 8. *Vet. J.* 182 (2), 142–151.
- Darpe, K.E., Batten, C.A., Veronesi, E., Shaw, A.E., Anthony, S., Bachanek-Bankowska, K., Kgosana, L., bin-Tarif, A., Carpenter, S., Muller-Doblies, U.U., Takamatsu, H.H., Mellor, P.S., Mertens, P.P., Oura, C.A., 2007. Clinical signs and pathology shown by British sheep and cattle infected with bluetongue virus serotype 8 derived from the 2006 outbreak in northern Europe. *Vet. Rec.* 161 (8), 253–261.
- Donnelly, C.A., Ferguson, N.M., Ghani, A.C., Woolhouse, M.E.J., Watt, C.J., Anderson, R.M., 1997. The epidemiology of BSE in cattle herds in Great Britain. I. Epidemiological processes, demography of cattle and approaches to control by culling. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 352 (1355), 781–801.
- Elbers, A.R., Mintiens, K., Staubach, C., Gerbier, G., Meroc, E., Ekker, H.M., Conraths, F.J., Van der Spek, A.N., Backx, A., 2007. Nature and severity of disease in sheep and cattle. Appendix II. Epidemiological analysis of the 2006 bluetongue virus serotype 8 epidemic in north-western Europe. European Food Safety Authority.
- Elbers, A.R., Backx, A., Ekker, H.M., van der Spek, A.N., van Rijn, P.A., 2008a. Performance of clinical signs to detect bluetongue virus serotype 8 outbreaks in cattle and sheep during the 2006-epidemic in The Netherlands. *Vet. Microbiol.* 129 (1–2), 156–162.
- Elbers, A.R., Backx, A., Meroc, E., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., Mintiens, K., 2008b. Field observations during the bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. I. Detection of first outbreaks and clinical signs in sheep and cattle in Belgium, France and the Netherlands. *Prev. Vet. Med.* 87 (1–2), 21–30.
- Elbers, A.R., Backx, A., Mintiens, K., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., 2008c. Field observations during the Bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. II. Morbidity and mortality rate, case fatality and clinical recovery in sheep and cattle in the Netherlands. *Prev. Vet. Med.* 87 (1–2), 31–40.
- Farrington, C.P., Andrews, N.J., Beale, A.D., Catchpole, M.A., 1996. A statistical algorithm for the early detection of outbreaks of infectious disease. *J. R. Stat. Soc.* 159, 547–563.
- Faye, B., Pérochon, L., 1995. La mortalité des vaches laitières dans l'enquête écopathologique Bretagne. *Vet. Res.* 26, 124–131.
- Ferguson, N.M., Donnelly, C.A., 2003. Assessment of the risk posed by bovine spongiform encephalopathy in cattle in Great Britain and the impact of potential changes to current control measures. *Proc. R. Soc. Lond.* 270, 1579–1584.
- Ferguson, N.M., Donnelly, C.A., Woolhouse, M.E.J., Anderson, R.M., 1997. The epidemiology of BSE in cattle herds in Great Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 352, 803–838.
- Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyau, C., Clavel, J., Jouglu, E., Hémon, D., 2006. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 80 (1), 16–24.
- Höhle, M., 2007. Surveillance: an R package for the monitoring of infectious diseases. *Comput. Stat.* 22 (4), 571–582.
- Josseran, L., Nicolau, J., Caillere, N., Astagneau, P., Brucker, G., 2006. Syndromic surveillance based on emergency department activity and crude mortality: two examples. *Euro Surveill.* 11 (12), 225–229.
- Jouglu, E., 1997. Statistic tests concerning population mortality indicators. *Rev. Épidémiol. Santé Publique* 45 (1), 78–84.
- Le Gal, M.C., Dufour, B., Geoffroy, E., Zanella, G., Moutou, F., Millemann, Y., Rieffel, J.N., Pouilly, F., 2008. Bluetongue virus serotype 8 in the Ardennes in 2007. *Vet. Rec.* 163 (22), 668.
- Loirette-Baldir, N., 2008. La déstabilisation de la filière brouillards. Agreste Primeur.
- Menzies, F.D., Bryson, D.G., McCallion, T., Matthews, D.J., 1995. A study of mortality among suckler and dairy cows in Northern Ireland in 1992. *Vet. Rec.* 137 (21) 531–536.
- Millemann, Y., Belbis, G., Zanella, G., 2009. Etude Clinique : chez les bovins. In: Gourreau, J.-M. (Ed.), FCO. Guides France Agricole, Paris, France, pp. 97–132.
- Mounaix, B., 2009. F.C.O. : le bilan technico-économique de l'épizootie de 2007 à l'échelle des exploitations. *Nouveau Prat. Vét.* 3 (12), 52–56.

- Mounaix, B., David, V., Lucbert, J., 2008. Synthèse des actions régionales d'évaluation de l'impact de la FCO en élevage bovin et ovin. Collection résultats Institut de l'élevage, pp. 1–72.
- Nogueira, P.J., Nunes, B., Machado, A., Rodrigues, E., Gomez, V., Sousa, L., Falcao, J.M., 2009. Early estimates of the excess mortality associated with the 2008–9 influenza season in Portugal. *Euro Surveill.* 14 (18).
- Norgaard, N.H., Lind, K.M., Agger, J.F., 1999. Cointegration analysis used in a study of dairy-cow mortality. *Prev. Vet. Med.* 42 (2), 99–119.
- Oehlert, G., 1992. A note on the Delta Method. *Am. Stat. Assoc.* 46 (1), 27–29.
- Pouilly, F., Bosquet, G., Cachbach, S., Mayer, A., Pinard, A., 2008. L'impact de l'épizootie de FCO en 2007 dans les Ardennes d'après les données équarissage et BDN. *Bull. Group Tech. Vet.* 46, 69–73.
- R Development Core Team, 2005. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reingold, A., 2003. If syndromic surveillance is the answer, what is the question? *Biosecur. Bioterror. Biodefense Strategy Pract. Sci.* 1 (2).
- Rey, G., Jougl, E., Fouillet, A., Pavillon, G., Bessemoulin, P., Frayssinet, P., Clavel, J., Hemon, D., 2007. The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 80 (7), 615–626.
- Serfling, R.E., 1963. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Public Health Rep.* 78 (6).
- Simonsen, L., Clarke, M.J., Williamson, D.G., Stroup, D.F., Arden, N.H., Schonberger, L.B., 1997. The impact of influenza epidemics on mortality: introducing a severity index. *Am. J. Publ. Health* 87 (12).
- Snee, R.D., 1977. Validation of regression models: methods and examples. *Technometrics* 19 (4).
- Stull, C.L., Messam, L.L.M.V., Collar, C.A., Peterson, N.G., Castillo, A.R., Reed, B.A., Andersen, K.L., VerBoort, W.R., 2008. Precipitation and temperature effects on mortality and lactation parameters of dairy cattle in California. *J. Dairy Sci.* 91 (12), 4579–4591.
- Szmaragd, C., Wilson, A., Carpenter, S., Mertens, P.P., Mellor, P.S., Gubbins, S., 2007. Mortality and case fatality during the recurrence of BTV-8 in northern Europe in 2007. *Vet. Rec.* 161 (16), 571–572.
- Thiry, E., Saegerman, C., Guyot, H., Kirten, P., Losson, B., Rollin, F., Bodmer, M., Czaplicki, G., Toussaint, J.F., De Clercq, K., Dochy, J.M., Dufey, J., Gillemans, J.L., Messemans, K., 2006. Bluetongue in northern Europe. *Vet. Rec.* 159 (10), 327.
- Thompson, W.W., Shay, D.K., Weintraub, E., 2003. Mortality associated with influenza and respiratory syncytial virus in the United States. *JAMA* 289 (2).
- Thomsen, P.T., Kjeldsen, A.M., Sorensen, J.T., Houe, H., 2004. Mortality (including euthanasia) among Danish dairy cows (1990–2001). *Prev. Vet. Med.* 62 (1), 19–33.
- Toussaint, J.F., Saileau, C., Mast, J., Houdart, P., Czaplicki, G., Demeestere, L., Vandebussche, F., van Dessel, W., Goris, N., Breard, E., Bounaadja, L., Etienne, T., Zientara, S., De Clercq, K., 2007. Bluetongue in Belgium, 2006. *Emerg. Infect. Dis.* 13 (4), 614–616.
- Zanella, G., Biteau-Coroller, F., Chartier, C., Bertrand, V., Bonnevie, D., Bosquet, G., Defachelles, J., Jolivet, F., Mayer, A., Ramette, A., Van Roy, M., Vignault, G., Locatelli, C., Simon, C., Le Dréan, E., Delaval, J., Prengère, E., Beauté, V., Durand, B., 2009a. Retour d'expérience sur la FCO sérotype 8 en 2007: signes cliniques et prévalence. *Bull. Group Tech. Vet.* 50, 87–95.
- Zanella, G., Gourreau, J.-M., Millemann, Y., 2009b. Etude clinique : chez les ovins. In: Gourreau, J.-M. (Ed.), FCO. Guides France Agricole, Paris, France, pp. 74–96.

2.4 Analyse des excès de mortalité en France au cours de l'épizootie de FCO

Après avoir concentré nos travaux sur un département fortement touché par la maladie, nous avons élargi notre analyse à l'ensemble de la France en gardant la même approche : nous avons ajusté dans chaque département un modèle de prédiction (similaire à celui décrit dans l'article ci-dessus) sur une période de calibration antérieure à l'épizootie, puis avons utilisé ces modèles pour prédire la mortalité attendue au cours de la période épizootique dans chaque département et pour chaque semaine de 2007 à 2009. Les excès de mortalité ont été estimés en comparant les effectifs de mortalité attendus aux effectifs observés. Une estimation a par ailleurs été conduite sur les séries de mortalité agrégées à l'échelle nationale.

Les données et la méthode ayant déjà été exposées, nous ne présentons ici que les résultats de l'étude et les conclusions.

2.4.1 Ajustement et prédiction

La qualité de l'ajustement des modèles a été vérifiée par inspection graphique et analyse des séries résiduelles. Le taux de mortalité hebdomadaire observé de 2003 à 2009 chez les vaches laitières âgées de 2 à 3,5 ans a été représenté pour exemple sur la Figure 54. Aux valeurs observées ont été superposées les valeurs ajustées par le modèle (de 2003 à 2006) ainsi que les valeurs prédites (de 2007 à 2009) et leur intervalle de prédiction à 95%.

On peut constater qu'en 2007, les taux hebdomadaires observés dans ce groupe sont toujours restés proches de la valeur prédite et dans les bornes des intervalles de prédiction.

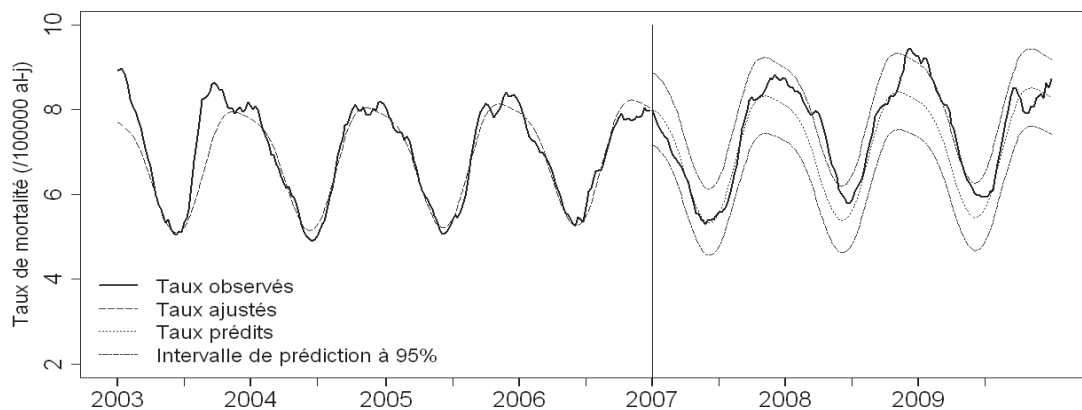


Figure 54 : Taux hebdomadaires de mortalité observés (2003-2009), ajustés (2003-2006) et prédits (2007-2009) chez les vaches laitières de 2 à 3,5 ans en France

En 2008 au contraire, des excès de mortalité ont été observés et la limite supérieure de l'intervalle de confiance a été dépassée pendant plusieurs semaines successives. Au second semestre 2009, le taux de mortalité observé rejoint de nouveau le taux de mortalité prédit.

2.4.2 Nombre de morts attendues et observées à l'échelle nationale

Les nombres de morts observés et attendus dans chaque sous-groupe populationnel et par semaine de 2007 à 2009 ont été agrégés pour l'ensemble de la population et par semestre (Tableau 28). Alors qu'au premier semestre 2007 et au second semestre 2009, on observe un léger déficit global de mortalité par rapport à la mortalité attendue, des excès de mortalité

sont observés du second semestre 2007 au premier semestre 2009. L'année 2008 est marquée par un excès relatif de mortalité global de l'ordre de 10%.

Tableau 28 : Nombres de bovins morts (tous âges et types de production confondus) attendus et observés par semestre de 2007 à 2009

	2007		2008		2009	
	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 1	Semestre 2
Mortalité observée (O)	589 347	637 514	695 029	670 231	679 791	604 247
Mortalité attendue (E)	617 539	599 248	629 915	609 477	614 901	610 433
Excès relatif (O-E)/E	- 4.6%	+6.4%	+10.3%	+10.0%	+10.6%	-1.0%

Les valeurs des excès de mortalité en 2008 par catégorie d'âge sont indiquées avec leur intervalle de confiance à 95% dans le Tableau 29 pour les bovins allaitants et dans le Tableau 30 pour les laitiers.

En 2008, tous âges et types de production confondus, 1 365 259 morts de bovins ont été notifiées, tandis que 1 239 391 étaient attendues. Soixante et un pour cent des 125 868 morts excédentaires ont été observées dans le cheptel allaitant. Des excès ont été constatés dans toutes les catégories d'âge. Le groupe comptant le plus de morts excédentaires est celui des veaux allaitants de moins de sept jours, qui représentent 18% de l'excès total de morts.

L'augmentation relative la plus importante, dans le cheptel allaitant comme dans le cheptel laitier, a toutefois été observée dans le groupe des animaux les plus âgés. En effet les ratios de mortalité observés dans la catégorie des bovins de plus de dix ans ont été respectivement de 1,37 [1,34 : 1,40] dans le cheptel allaitant et de 1,23 [1,20 : 1,26] dans le cheptel laitier.

Tableau 29 : Nombres de morts observés (O) et attendus (E), excès (O-E) et ratios de mortalité (O/E) par catégorie d'âge chez les bovins allaitants en France en 2008

Cat. âge	Nombre de bovin-jours	O	E	O-E	O/E
<7j	35 939 243	253 891	230 703	23 188	1,10 [1,08 : 1,12]
7j-1m	100 307 920	88 158	76 969	11 189	1,15 [1,13 : 1,17]
1-2m	130 133 827	42 942	37 228	5 714	1,15 [1,13 : 1,17]
2-6m	510 053 905	77 207	73 192	4 015	1,05 [1,03 : 1,07]
6m-1a	595 963 803	47 897	43 597	4 300	1,10 [1,08 : 1,13]
1-2a	730 165 881	35 419	30 786	4 633	1,15 [1,13 : 1,17]
2-3,5a	651 690 705	30 790	26 968	3 822	1,14 [1,12 : 1,16]
3,5-5a	403 541 741	21 511	18 458	3 053	1,17 [1,14 : 1,20]
5-10a	733 437 639	44 079	37 854	6 225	1,16 [1,13 : 1,19]
>10a	233 430 522	38 139	27 871	10 268	1,37 [1,34 : 1,40]

Tableau 30 : Nombres de morts observés (O) et attendus (E), excès (O-E) et ratios de mortalité (O/E) par catégorie d'âge chez les bovins laitiers en France en 2008

Cat. âge	Nombre de bovin-jours	O	E	O-E	O/E
<7j	21 760 768	256 724	255 097	1 627	1,01 [0,99 : 1,03]
7j-1m	59 161 575	92 183	82 266	9 917	1,12 [1,10 : 1,14]
1-2m	77 408 405	35 518	31 912	3 606	1,11 [1,09 : 1,13]
2-6m	294 157 493	58 856	58 301	555	1,01 [0,99 : 1,03]
6m-1a	292 366 463	28 389	23 203	5 186	1,22 [1,19 : 1,25]
1-2a	535 563 910	26 110	21 862	4 248	1,19 [1,16 : 1,22]
2-3,5a	619 377 942	48 088	45 029	3 059	1,07 [1,05 : 1,09]
3,5-5a	446 480 448	41 707	36 971	4 736	1,13 [1,11 : 1,15]
5-10a	575 941 674	85 015	70 852	14 163	1,20 [1,17 : 1,23]
>10a	49 044 865	12 636	10 272	2 364	1,23 [1,20 : 1,26]

2.4.3 Distribution spatio-temporelle des excès de mortalité

Le ratio de mortalité global a été calculé pour chaque département et semaine de 2007 à 2009.

L'analyse des cartes hebdomadaires de mortalité a montré que les ratios significativement différents de 1 (supérieurs ou inférieurs) observés au cours du premier semestre 2007 étaient ponctuels et isolés (Figure 55). Au contraire, à partir d'août 2007, des ratios de mortalité significatifs et systématiquement supérieurs à 1 ont commencé à apparaître et persister dans plusieurs départements du nord-est, proches de la frontière belge.

Les excès de mortalité se sont maintenus pendant l'hiver 2007-2008, puis se sont étendus vers le centre de la France au cours de l'année 2008. Durant l'hiver 2008-2009, des excès significatifs de mortalité ont été identifiés dans la plupart des départements français. Enfin, dans la seconde moitié de l'année 2009, le nombre d'écarts significatifs s'est progressivement réduit.

2.4.4 Discussion

Nous avons modélisé les fluctuations des taux de mortalité hebdomadaires dans la population bovine de chaque département français à partir des notifications envoyées à la BDNI du 01/01/2003 au 31/12/2006. Nous avons ensuite utilisé les modèles ajustés pour prédire la mortalité attendue de 2007 à 2009 et comparer le nombre de morts observé au nombre attendu. Des excès de mortalité ont été identifiés à partir du second semestre 2007 dans les départements du nord-est de la France, puis dans le reste de la France jusqu'au premier semestre 2009.

L'approche adoptée a permis de quantifier une surmortalité de 2007 à 2009 par rapport à la période 2003-2006 mais ne permet pas d'en identifier formellement la cause. A l'échelle locale, de multiples facteurs ont pu jouer un rôle. Plus rares en revanche sont les phénomènes susceptibles de provoquer une augmentation généralisée de la mortalité. D'une part, la récolte de fourrage a été, de l'avis des experts, d'une qualité particulièrement médiocre en 2007, ce qui a pu augmenter la mortalité dans les élevages français au cours et à la fin de l'hiver.

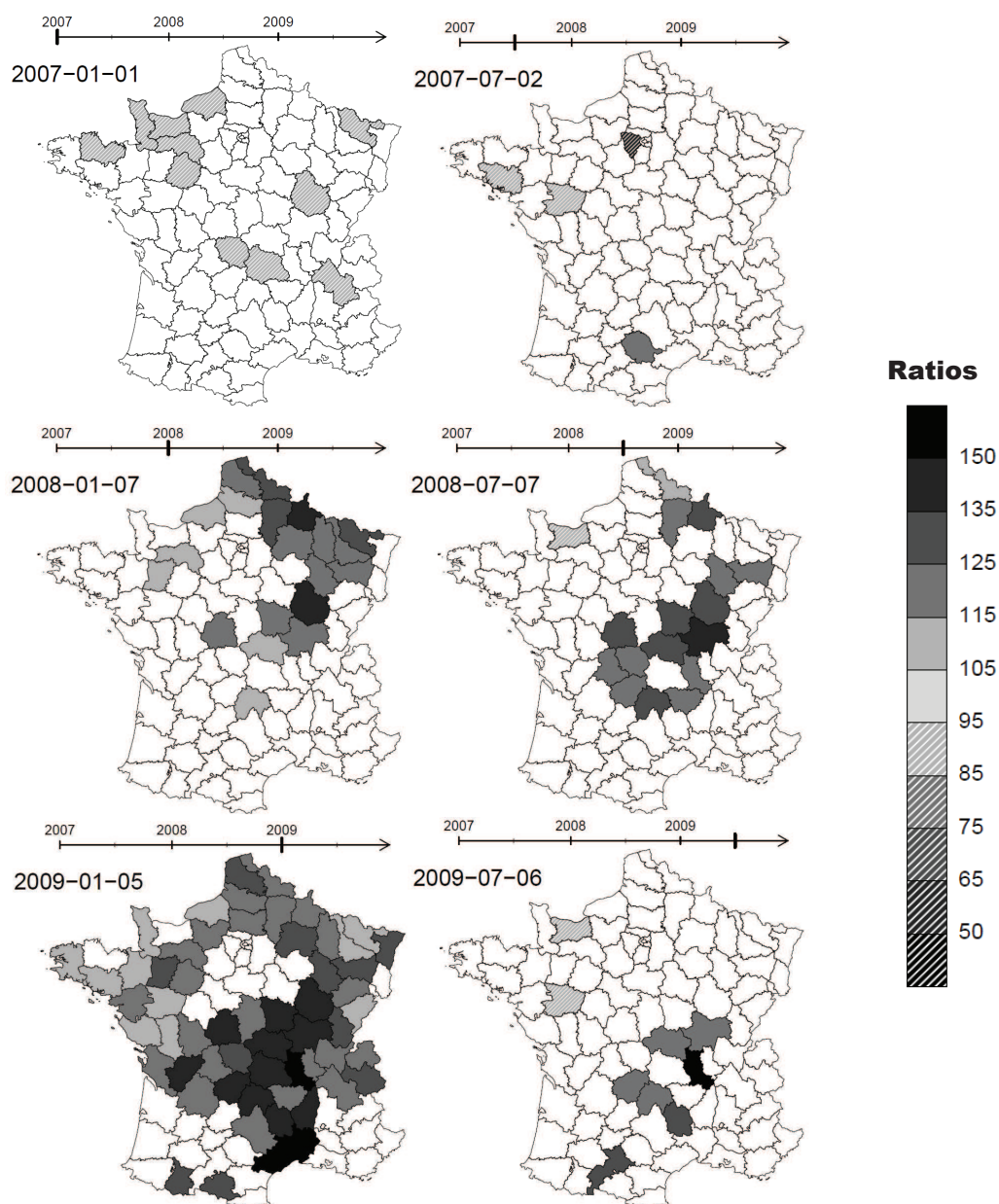


Figure 55 : Ratios (multipliés par 100) de mortalité départementaux pour la première semaine de janvier et la première semaine de juillet en 2007, 2008 et 2009 (les dates indiquées sont celles du premier jour de la semaine représentée)

D'autre part, l'élévation des quotas de production laitière attribués aux éleveurs en 2007 a poussé certains d'entre eux à maintenir plus longtemps qu'à l'habitude des vaches dans leur élevage. Ces animaux, qui n'ont pas été réformés, ont par conséquent été exposés plus longtemps au risque de mortalité. La prise en compte du nombre exact de bovins-jours (par catégorie d'âge et type de production) au dénominateur a toutefois permis d'ajuster les prédictions sur les éventuelles modifications de populations dues à des changements dans la conduite des élevages.

Le principal événement sanitaire en 2008 reste cependant l'épizootie de FCO qui a, cette année là, touché plus de 30 000 élevages français (élevages notifiés). L'évolution spatio-temporelle des excès de mortalité, apparus à la frontière franco-belge dans le second

semestre 2007, puis ayant progressé vers le centre de la France en 2008, est cohérente avec la progression de l'épizootie de FCO. En effet, en 2007, 75% des foyers de FCO dus au sérotype 8 ont été recensés dans 16 départements du nord-est de la France (Coroller et al., 2008) et en 2008 ce virus s'est propagé au reste du territoire, atteignant 86 départements. Les foyers dus au sérotype 1 sont quant à eux restés majoritairement concentrés dans le sud-ouest de la France (l'Ariège et la Haute-Garonne ont totalisé 50% de ces foyers). Par ailleurs, le retour d'une correspondance des taux de mortalité observés avec les prédictions des modèles au second semestre de 2009 est contemporaine de l'arrêt de l'épizootie.

Dans les Ardennes, des augmentations du nombre mensuel de bovins morts par rapport à l'année précédente ont été décrites d'août 2007 (+12%) à avril 2008 (+34%) (Pouilly et al., 2008). Dans ce département, un excès de 5 244 morts (2% de la population moyenne) a été estimé pour la période de juillet 2007 à juin 2008. Une synthèse des actions menées dans d'autres départements (Aisne, Nord, Pas de Calais, Moselle, départements de la Bourgogne) rapporte pour 2007 des augmentations de la mortalité bovine, attribuées à la FCO, variant entre +20% et +36% (Mounaix et al., 2008). Ces résultats, obtenus à l'échelon local, sont cohérents avec ceux issus de notre étude.

2.4.5 Bilan des études et perspectives

Malgré leurs limites, les travaux que nous avons menés sur les données de la Meuse et du reste de la France ont permis d'évaluer les excès de mortalité survenus dans la population bovine au cours de l'épizootie de FCO et de compléter les informations obtenues par les méthodes classiques. Ces estimations obtenues de manière rétrospective auraient pu être disponibles pendant la propagation de la maladie si un dispositif d'analyse avait été en place à l'époque, la collecte rapide des données étant déjà effective (cf. Chapitre 2).

Si nous avons pu identifier rétrospectivement des excès de mortalité, parfois contemporains aux premières notifications officielles de cas cliniques, il est toutefois difficile de savoir si ceux-ci auraient pu véritablement constituer le premier signal d'alarme révélateur de la présence de la maladie. La possibilité de détecter une menace inconnue par son impact sur la mortalité est l'objet du paragraphe suivant.

3 Détection d'une menace sanitaire par son impact sur la mortalité

La plupart des DSS sont mis en place avec comme objectif initial de détecter des événements sanitaires inattendus ou inconnus. Peu de systèmes ont déjà démontré leur efficacité. Pourtant l'étude *a posteriori* de certains exemples, comme celui de la canicule, suggère que cet objectif pourrait-être atteint.

3.1 Un exemple : la canicule de 2003

Du 1^{er} au 20 août 2003, la France connu une vague de chaleur importante avec une température maximale qui dépassa la normale saisonnière de 11 à 12 degrés sur neuf jours consécutifs. Cet événement aurait causé plus de 15 000 morts excédentaires (par coups de chaleur, hyperthermie, déshydratation, accidents cardiovasculaires, désordres respiratoires, etc.) particulièrement chez les personnes âgées et les personnes seules (Fouillet et al., 2006).

Jusqu'à cet épisode dramatique, les vagues de chaleur n'étaient pas considérées comme des menaces sanitaires pour les populations européennes vivant dans des régions au climat tempéré. A l'époque, aucun dispositif ne collectait d'information en temps réel sur le nombre de morts et l'ampleur de l'épidémie n'a été que tardivement confirmée, après des notifications informelles d'urgentistes et des pompes funèbres générales.

Certains auteurs considèrent que si des dispositifs de surveillance de la mortalité avaient été opérationnels à l'époque, ils auraient certainement pu permettre de détecter plus rapidement le démarrage de l'épidémie de morts dues à la chaleur (Caserio-Schönemann et al., 2005) et très vraisemblablement d'en limiter l'ampleur. Les dispositifs de surveillance de la mortalité humaine se sont développés principalement suite à cet événement.

La canicule de 2003 n'a pas affecté que les populations humaines, mais a aussi fortement touché les populations animales. Il n'existait pas non plus à l'époque de dispositif collectant d'informations sur la mortalité animale, mais les professionnels de l'équarrissage ont rapporté *a posteriori* une très forte surmortalité dans toutes les espèces animales pendant une douzaine de jours (Etablissements Caillaud, 2003). Les entreprises d'équarrissage Caillaud ont par exemple organisé une cellule de crise pour faire face à l'augmentation soudaine des demandes d'enlèvements dès le 5 août, alors que les premiers signalements de décès humains liés à la chaleur sont parvenus le 6 août à la Direction générale de la Santé (DGS), et que le premier communiqué de presse mettant en garde la population contre la déshydratation a été publié le 8 août (Figure 56).

Contrairement aux idées reçues, la mortalité n'a pas augmenté que chez les volailles, supposées plus sensibles à la chaleur notamment en raison de leur mode d'élevage (élevage à forte densité et en claustration pour l'élevage dit industriel). Un rapport faisant le bilan de l'exécution du service public d'équarrissage lors de la canicule 2003 souligne la très forte mortalité des bovins : au cours de la deuxième semaine d'août dans cette entreprise, la collecte qui se limitait pratiquement aux seuls bovins (la collecte des autres espèces ayant été suspendue) a été équivalente en poids à la collecte habituelle toutes espèces confondues (Etablissements Caillaud, 2003).

Le nombre de cadavres bovins collectés au cours de la semaine 32 était de 42% supérieur à la moyenne du mois de juillet. Ces répercussions se sont prolongées pendant deux semaines

à l'issue de la canicule (semaines 34-35), les animaux adultes ayant été touchés dans les mêmes proportions que les veaux.

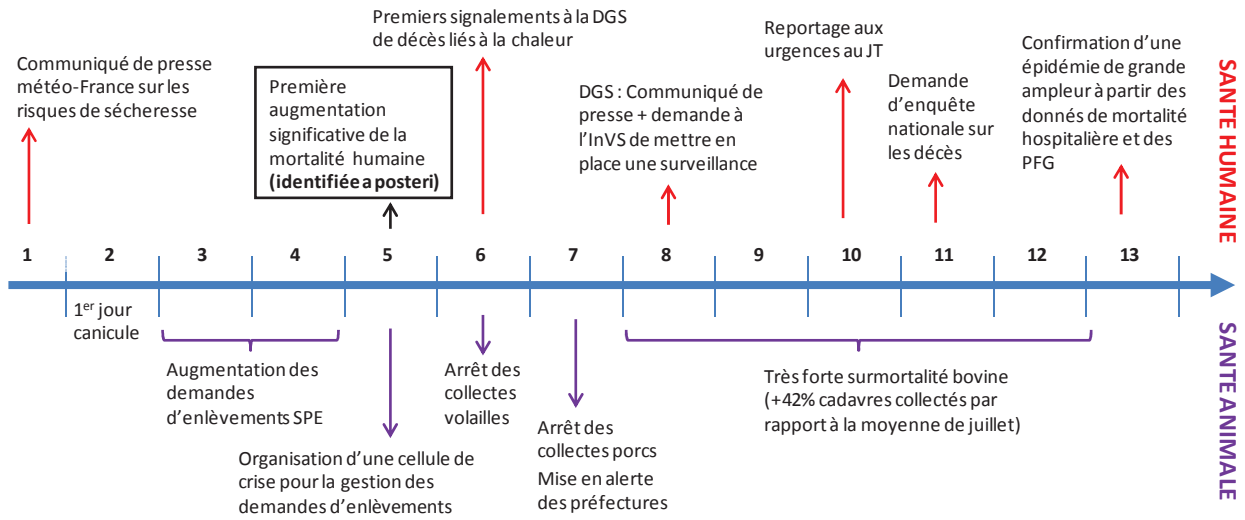


Figure 56 : Chronologie de l'alerte lors de la canicule 2003 en santé humaine et animale.

Sources : (Institut de veille sanitaire, 2003) et (Etablissements Caillaud, 2003)

Le déroulement des événements ayant finalement conduit à l'état d'alerte suggère que la menace sanitaire que représentait la canicule aurait peut-être pu être détectée plus tôt en recherchant des signaux dans les populations animales (Figure 56). En effet, certaines populations animales d'élevage ont visiblement présenté des signes d'atteintes plus rapidement que la population humaine. L'augmentation des demandes d'enlèvements a été constatée par les équarrisseurs dès le 3 août, mais cette information n'a pas été exploitée car il n'existait pas à l'époque de procédure formelle de notification pour ce type d'information. Les arrêts de collecte (d'abord des volailles puis des porcs) qui ont ensuite été autorisés en raison du débordement des services d'équarrissage sont des mesures véritablement exceptionnelles. Elles auraient pu constituer des signaux d'alerte fort, aussi bien auprès des responsables de la santé publique qu'animale. Des échanges d'information entre experts de santé animale et humaine auraient probablement permis d'additionner les signaux émanant des populations humaines et animales et de confirmer plus rapidement la présence d'une menace sanitaire importante.

L'exemple de la canicule illustre donc le fait qu'une surveillance automatisée d'indicateurs de mortalité dans la population humaine et dans la population animale, voire leur combinaison, pourrait constituer un outil efficace de détection et d'alerte précoce.

3.2 Défis posés par la détection précoce à partir des données de mortalité bovine

Les études rétrospectives que nous avons menées sur les conséquences de la FCO nous ont permis d'identifier les principaux défis posés par la détection précoce de menaces sanitaires à partir des données de mortalité bovine disponibles en France (Article 4). Cette réflexion a fait l'objet d'une présentation orale à la première conférence internationale sur la santé animale (*International Conference on Animal Health, ICAHS*), qui s'est tenue à Lyon en mai 2011, et d'un article dans le numéro spécial consacré à cette conférence et publié en janvier 2012 dans la revue *Preventive Veterinary Medicine*.

Outre les défis logistiques (accès rapide aux données, amélioration de leur qualité, automatisation des analyses, etc.), la principale difficulté que nous avons identifiée était l'élaboration d'une véritable stratégie d'analyse. En effet, l'objectif de « détecter des anomalies » dans la mortalité d'une population aussi grande que la population bovine française (20 millions d'individus répartis sur tout le territoire) est très vague, surtout lorsque l'on considère la multiplicité des signaux anormaux pouvant signifier l'apparition d'une menace sanitaire. Une stratégie d'analyse définissant des objectifs plus restreints doit donc nécessairement être établie en regard des données et des méthodes de détection d'anomalies disponibles.

Que l'approche soit temporelle, spatiale ou spatio-temporelle, il sera notamment nécessaire de définir le niveau d'agrégation des données à analyser (unité de surveillance), la fréquence et les territoires auxquels appliquer les analyses, ainsi que la ou les méthodes à appliquer.

3.2.1 Choix de l'unité de surveillance

Le choix de l'unité de surveillance (spatiale, temporelle et démographique) est souvent contraint par les données collectées, qui peuvent n'être disponibles qu'à l'état agrégé. Dans notre cas, la disponibilité des données de mortalité bovine n'est pas un facteur limitant puisque nous disposons de données individuelles relatives aux caractéristiques de tous les bovins morts en France (âge, sexe, type de production) ainsi qu'à la date et au lieu (exploitation) exacts de leur mort.

Une solution pour définir le pas de temps, l'unité spatiale et les facteurs démographiques à prendre en compte dans l'analyse des données peut être d'adopter une approche basée sur le risque, visant à identifier les compartiments spatio-temporels et démographiques où une anomalie est i) la plus susceptible d'apparaître, ii) la plus susceptible d'être détectée. Pour ce faire, des informations doivent être disponibles sur les dangers pouvant potentiellement apparaître dans la population sous surveillance, et sur leur effet sur l'indicateur suivi (ex. classe d'âge la plus susceptible d'être atteinte en cas d'introduction d'une maladie exotique X). Le dispositif de surveillance reste non spécifique mais est « orienté ».

En absence d'information sur les menaces susceptibles d'apparaître (dispositif de surveillance « non orienté »), l'unité de surveillance sera principalement déterminée par les contraintes liées à l'outil d'analyse employé et celles relatives à la gestion (interprétation et intervention) des résultats de surveillance produits par le dispositif.

D'un point de vue spatial, l'unité de surveillance devra notamment être assez fine pour limiter la zone d'investigations en cas d'alarme, mais suffisante pour que le nombre de cas

observés par unité répondent aux conditions d'application des algorithmes de détection d'anomalies. Les unités spatiales de surveillance peuvent correspondre au découpage administratif du territoire (par exemple les départements), ou au contraire être déterminées par un maillage géométrique régulier qui n'a pas de réalité administrative. Alors que la première solution facilitera la gestion des alarmes puisque chaque espace susceptible d'être en alerte est géré par une administration identifiée, la seconde facilitera l'application d'algorithmes de détection d'anomalies spatiales en s'affranchissant des frontières administratives.

D'un point de vue temporel, le pas de temps le plus adapté dépend des fluctuations du niveau de référence et de la possibilité de les prendre en compte lors de la recherche d'anomalies. L'analyse des données journalières de la mortalité bovine, tant celles de la BDNI que celles de l'EDI-SPAN, a montré l'existence d'un fort effet jours de la semaine qu'il semble difficile de contrôler. Dans la BDNI, les éleveurs sont supposés notifier la date exacte de la mort de leurs bovins. Toutefois, nous avons constaté qu'un faible nombre de notifications correspondaient à des morts survenues le week-end et qu'au contraire de nombreuses notifications correspondaient à de morts survenues le lundi et le mardi (Figure 57). De plus, nous avons observé sur les séries temporelles de notifications à la BDNI des baisses abruptes de notifications lors des jours fériés ou des « ponts » (Figure 58).

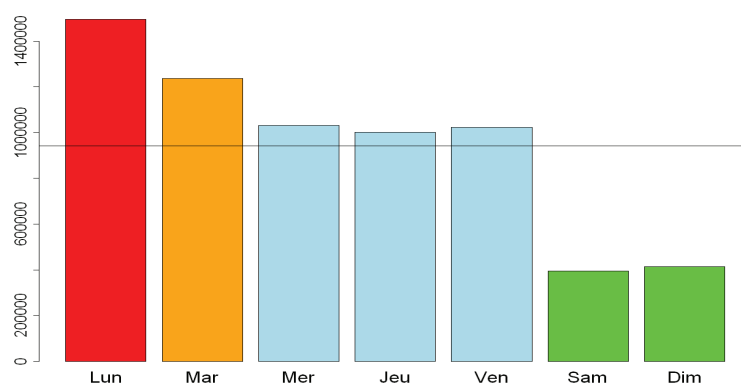


Figure 57 : Nombre de notifications de sortie pour cause de mortalité notifiées par les éleveurs français à la BDNI entre 2001 et 2006 en France, agrégées selon le jour de la semaine correspondant à la mort

Ces constats suggèrent qu'une forte proportion d'éleveurs ne notifie pas à la BDNI la date réelle de mort de leurs animaux, mais la date où l'équarrissage prélève les cadavres. En effet, la plupart des équarrisseurs ne ramassent pas les cadavres le week-end et les jours fériés et « rattrapent leur retard » le lundi et mardi (cf. Article 4).

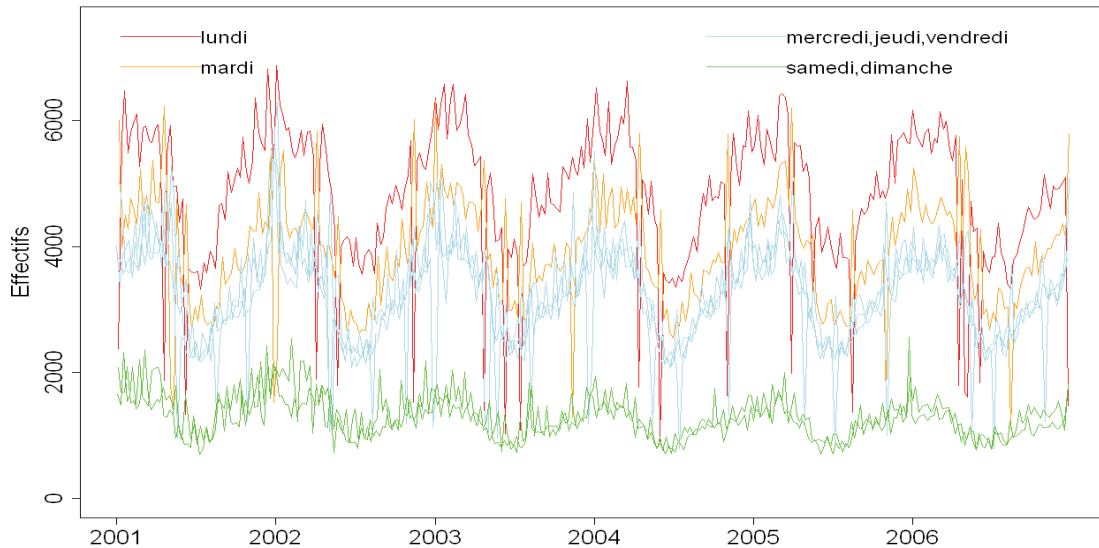


Figure 58 : Courbes de mortalité journalière à l'échelle nationale, (les points représentant les mêmes jours de la semaine -lundi, mardi etc.- sont reliés entre eux) entre 2001 et 2006

Comme le nombre de déclarations de morts et celui des enlèvements, le nombre de demandes d'enlèvement est variable selon le jour de la semaine (Figure 59) : peu de demandes sont faites par les éleveurs le week-end. Le nombre de demandes est réduit du vendredi au dimanche, probablement parce que les éleveurs ne jugent pas nécessaire demander un enlèvement sachant que celui-ci ne sera pas réalisé avant le lundi suivant. Le lundi est le jour où le plus grand nombre de demandes est fait, certainement en rattrapage du week-end pendant lequel les standards d'appel de certains départements sont fermés. La variation du nombre de demandes d'enlèvement dépend fortement de l'équarrisseur (Figure 59). Les établissements I et J reçoivent par exemple une proportion importante (près de 15% des demandes reçues) de demandes le dimanche, certainement grâce au système de requêtes d'enlèvement par internet ou serveur vocal. Le rattrapage du lundi est en conséquence plus faible dans ces sociétés (le lundi représente moins de 25% des demandes de la semaine).

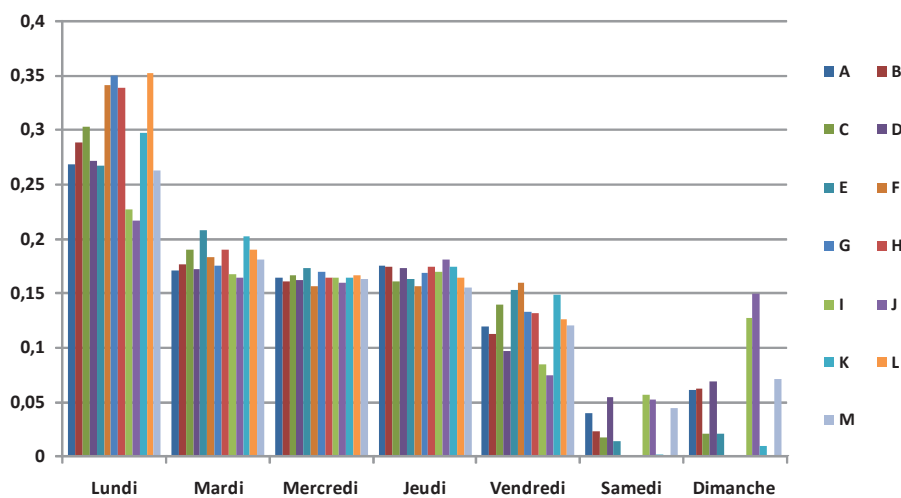


Figure 59 : Répartition (%) des demandes d'enlèvements au cours de la semaine, par équarrisseur (A à J) en France en 2008

Il est probable que le jour de la semaine ait un effet non seulement sur les déclarations des éleveurs et des équarisseurs, mais aussi un effet réel direct sur la mortalité bovine elle-même, comme l'ont suggéré les résultats de notre enquête postale auprès des éleveurs, qui devaient déclarer le jour exact de la mort (cf. Chapitre 2). Quelle que soit son origine, l'effet jour de la semaine observé dans les données de l'EDI-SPAN et de la BDNI, fortement dépendant du calendrier et de l'activité des équarisseurs, est important et semble difficile à modéliser... L'agrégation à la semaine permet de contourner cette difficulté.

Mais que ce soit d'un point de vue spatial, temporel ou démographique, certaines anomalies sont susceptibles d'apparaître ou de disparaître selon le degré d'agrégation adopté. Par exemple, une anomalie ponctuelle observée sur une série hebdomadaire peut être « diluée » et disparaître dans la même série agrégée au niveau mensuel. Inversement, plusieurs anomalies successives non significatives à l'échelle hebdomadaire peuvent constituer une anomalie significative au niveau d'agrégation mensuel. En conséquence, il peut être pertinent d'établir une stratégie de recherche d'anomalies à différents niveaux d'agrégation, qui se réalise en parallèle ou de manière hiérarchique (par exemple de la plus grande échelle à la plus petite, tant qu'une anomalie est identifiée).

3.2.2 Fréquence des analyses et zones de surveillance

La fréquence des analyses et la définition des zones de surveillance sont à distinguer de l'unité spatio-temporelle adoptée pour l'analyse. Par exemple, il est possible d'analyser quotidiennement (fréquence) des données agrégées au niveau hebdomadaire (unité temporelle) et de rechercher des regroupements de communes constituant des cas (unité spatiale) au niveau national ou départemental (zones de surveillance).

La fréquence des analyses et les zones de surveillance doivent être déterminées par la capacité de réaction du réseau de surveillance. En effet, émettre une alarme qui ne peut être ensuite traitée par une unité d'intervention est inutile. Des analyses conduites en temps réel n'apporteront par exemple aucune valeur ajoutée si les unités d'intervention ne peuvent prendre connaissance et réagir aux alarmes que quotidiennement. Les analyses devront par ailleurs produire des résultats correspondant à un espace géographique qui constitue la zone d'intervention des bénéficiaires des éventuelles alertes. Par exemple les services vétérinaires français étant organisés en unités régionales et départementales, des bulletins de surveillance spécifiques peuvent être établis pour chacun des départements et régions constituant leurs juridictions.

3.2.3 Choix d'un algorithme

Nous avons exposé dans le premier chapitre de cette thèse de nombreux algorithmes utilisables en surveillance épidémiologique. Le choix d'un algorithme en particulier va dépendre du type de signal à identifier, du niveau de bruit et des ressources disponibles.

Même si cela peut sembler un peu paradoxal pour un système ciblant des événements inattendus, le type de signaux à détecter doit nécessairement être déterminé a priori. En effet, la méthode à appliquer dépend de la forme des signaux à détecter, le choix des paramètres de leur magnitude, etc. Par exemple, dans une analyse temporelle, les cartes de contrôle séquentielles (CUSUM, EWMA) sont plus efficaces que les cartes de contrôle de Shewhart pour identifier de petits écarts systématiques à la valeur attendue.

Les caractéristiques du niveau de référence (nature d'indicateur et de l'hypothèse pouvant être faites sur sa distribution, existence de tendances, de cycles, d'autocorrélations, etc.) auront aussi un impact déterminant sur le choix de la méthode à appliquer.

Dans le cadre d'un DSS, où le système doit rester suffisamment non spécifique pour détecter plusieurs types d'anomalies, il peut être judicieux d'appliquer plusieurs outils complémentaires en combinaison, afin de permettre la détection de signaux de différentes formes et magnitudes.

De manière plus pragmatique, le degré de complexité de la méthode doit être pris en compte : alors que certains algorithmes, comme la méthode des moyennes historiques, sont très faciles d'utilisation, d'autres, comme les méthodes de détection d'agrégats spatio-temporels demandent un niveau d'expertise plus important. Le degré d'automatisation attendu peut aussi influencer le choix car certains modèles nécessitent d'être régulièrement réajustés, tandis que d'autres algorithmes fonctionnent sans demander d'intervention humaine fréquente. Enfin la quantité de données historiques disponibles influencera aussi le choix d'une méthode. Alors que certaines d'entre elles sont conçues pour fonctionner avec un historique de données très limité (une semaine pour les méthodes de la famille-C) d'autres ne sont applicables qu'avec un historique de cinq années au minimum (méthode des moyennes historiques).

3.3 Article 4: Evaluation de l'utilité des données d'identification et d'équarrissage collectées en routine pour la surveillance syndromique

Preventive Veterinary Medicine 105 (2012) 244–252



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Preventive Veterinary Medicine

journal homepage: www.elsevier.com/locate/prevetmed

Assessment of the utility of routinely collected cattle census and disposal data for syndromic surveillance

Jean-Baptiste Perrin^{a,b,*}, Christian Ducrot^b, Jean-Luc Vinard^a, Eric Morignat^a,
Didier Calavas^a, Pascal Hendrikx^c

^a Unité Epidémiologie, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France

^b Unité d'épidémiologie animale, UR346, INRA, 63122 St Genès Champanelle, France

^c Direction scientifique des laboratoires, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) 27-31 avenue du général Leclerc F-94701 Matsons-Alfort Cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2011

Received in revised form 9 November 2011

Accepted 4 December 2011

Keywords:

Mortality

Cattle

Syndromic surveillance

Census data

ABSTRACT

Census and disposal data provide a multipurpose source of information on cattle mortality. The retrospective analyses we conducted on the data gathered in the National Cattle Register produced relevant information for describing and modelling the cattle mortality baseline and evaluating the impact of the 2007–2008 Blue Tongue epidemic on the French cattle population. This work was conducted retrospectively but showed that monitoring cattle mortality near real time could help detecting unexpected events. We are thus currently working on a timely and automated system to monitor cadaver disposal requests received by rendering plants, thanks to a data interchange system recently implemented between the Ministry of Agriculture and the fallen stock companies. Besides technical and methodological challenges, using these data for surveillance purposes raises epidemiological questions that still need to be answered. The question remains notably as to whether an abnormal increased mortality is a sensitive and timely signal for detecting unexpected health events. It appears also very challenging to identify the most adequate surveillance scale (time, space and population) and the most adequate anomaly detection algorithms to apply when the characteristics of the signals to be detected (shape, amplitude, etc.) are not known a priori. In Human health, similar systems have not yet proven their ability to detect unexpected events earlier than classical surveillance systems currently in place, but they have already demonstrated their value for real time assessment of identified and potentially dangerous events. Combined with traditional surveillance systems, we think that monitoring routinely collected data could improve the surveillance of the animal population health. Even if not used for detection purposes, cattle mortality monitoring could be used to rapidly produce information on the impact and evolution of identified events, what would facilitate decision-making regarding management measures and improve the communication.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Over the last decade, advances in information sciences have led to the proliferation of large databases gathering information on animal populations. Some of these databases were implemented by veterinary health

* Corresponding author at: Unité Epidémiologie, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France.
Tel.: +33 04 78 61 44 17; fax: +33 04 78 61 91 45.

E-mail address: jean-baptiste.perrin@anses.fr (J.-B. Perrin).

agencies or administration bodies to support either specific surveillance (e.g. databases on notifiable disease outbreaks) or more control-oriented programmes (e.g. census or meat-inspection databases). Others were implemented by farmers' organizations or veterinary health care providers for the management of their activity (e.g. monitoring milk production or drug sales, electronic medical records in private clinics, etc.). Large amounts of data are produced frequently and automatically by these systems but most of them remain underemployed, whereas they could be of great value for epidemiological surveillance of animal population health.

In 2009, the French Ministry of Agriculture together with ANSES (French Agency for food, environmental and occupational safety) and INRA (Institut national de la recherche agronomique) launched a research project with the aim of utilising data that are already routinely collected in France to monitor livestock mortality. The objectives of that project were:

- to model baseline livestock mortality in time and space, and produce reliable statistics;
- to evaluate excess mortality associated with past events such as epidemics;
- to design a mortality monitoring system able to rapidly detect anomalies possibly associated with health events.

It was decided to focus research first on cattle because of the greater accuracy and reliability of the available data compared to other species (in France, individual identification of cattle exists from 1978). After first detailing the specifications of the available databases, we present how we used these data to model the baseline cattle mortality in France, and to retrospectively assess the excess mortality associated to the Blue Tongue (BT) epidemics (for the latter, the approach adopted and its results are only summarized since this work has already been published (Perrin et al., 2010a,b)). In a second part, this paper addresses the possible benefits of the use of unspecific and routinely collected data for epidemiological surveillance, as well as the technical and methodological challenges that represents the implementation of such systems.

2. Mortality data routinely collected in France

Two data sources were identified to achieve the aims of the Observatory: the National Cattle Register (NCR) and the Fallen Stock Data Interchange (FSDI).

The NCR is a computerized database for the identification and registration of bovine animals that each EU Member State is required to set up under the European Regulation 1760/2000. Cattle owners are required to report within seven days all animal movements to and from their holdings, including births and deaths. Mandatory registrations include data about cattle herds (identification number, postcode), animals (identification number, birth date, sex and breed) and animal movements (animal identification number, herd identification number, date, movement type [entry or exit], reason for entry [birth or purchase] or exit [death, slaughter or sale]).

Alongside this database, in 2006 the French Ministry of Agriculture implemented a specific system with the fallen stock companies (FSDI). In France, the organization of rendering activities has been highly centralized and industrialized since a law of 31 December 1975 (partly replaced by EU Regulation 1774/2002). To date, the territory is covered by three companies managing 53 collecting centres and 11 transformation plants (Bonjour et al., 2010). Although their participation is voluntary, all the companies are involved in the data-interchange system because they use the system as a billing service to charge farmers. Fallen stock companies collect and transmit two types of data. The first type relates to the phone calls or online requests made by farmers who ask for the disposal of a dead animal on their farm. The main data collected are the date and time of the request, the identification and address of the holding, the number of animals to collect and their age category (<21 d, <6 m, <9 m, <12 m, <18 m, <24 m, >2 y), sex and production type (dairy or beef). The second type of data is recorded in the FSDI by the fallen stock companies after the disposal of cadavers. Initial declarations made by the farmer are then updated (number of animals, category, production type, sex, etc.) and additional data are collected: date and time of the visit, individual ID number of animals and identification quality (ear tags, documents, etc.), net weight of disposal, etc.

NCR is theoretically exhaustive because animal owners are legally required to notify this information, which is regularly controlled by local veterinary services. On the other hand, FSDI is also assumed to be comprehensive and to cover the whole French cattle population since the use of fallen stock companies is mandatory for farm animals over 40 kg. Official controls on farm show that voluntary or involuntary underreporting of deaths and/or movements exists, but its importance is hard to estimate. Quality of the data registered in the NCR was checked 'within the system', i.e. by analyzing the consistency of information registered. Aberrations regarding dates (e.g. different dates registered for the same movement by the seller and by the receiver) and causes (e.g. an off-movement associated to the cause "death", followed by an on-movement on another farm) were corrected according to the rules defined by the Ministry of Agriculture (available on demand, in French). Since 2003, percentage of aberrations in NCR is however very low (e.g. less than 0.5% causes had to be corrected). The implementation of the FSDI will offer a new opportunity to evaluate the quality of the data registered in the NCR, by comparing data recorded in the two systems. Preliminary analysis already suggested that the number of cattle deaths notified by farmers was below the number of cattle cadavers collected that was notified by the fallen stock companies. This possible gap needs to be further investigated.

Because the NCR was implemented earlier, it has a larger historical dataset and was thus used to model the cattle mortality baseline and to carry out a retrospective analysis of excess mortality related to past epidemics. On the other hand, FSDI collects data more promptly and is thus currently used to evaluate the benefits of monitoring mortality indicators for epidemiological surveillance.

3. Modelling the cattle mortality baseline

From 2003 to 2009, the NCR gathered about 155 million cattle movement notifications, corresponding to more than 75 million animals. All movement notifications were analyzed by an algorithm to compute the number of deaths and the number of (living) cattle-days in France by herd, week, production type and age. In this manner, Mortality Incidence Rates (MIR) could be estimated and described for different population subgroups and the desired space–time windows. Personalized reports summarizing the results of this modelling were automatically produced for each of the 96 departments of France (French administrative units) and for France as a whole. Reports were sent to veterinary authorities and farmer organizations of each department, to allow recipients to compare their local situation to the regional and national situations. An example of the output presented in these reports is presented in Fig. 1.

The historical dataset available was also used to describe the temporal characteristics of MIRs. Trend and seasonality of MIR weekly time series were analyzed using a Poisson regression that was applied to each subpopulation group (age, production type) at different spatial scale (departmental and national). The models took into account a linear trend and monthly parameters for seasonality. Analysis at national scale showed in particular that seasonality varied between population subgroups (Fig. 2): for example, MIR showed greater seasonality in beef than in dairy cattle, two seasonal peaks were observed for calves of less than seven days of age while only one was observed in other groups, etc. No further analysis has been carried out so far but it seems probable that calving seasons (Fig. 2) and climatic factors were two of the main reasons for these seasonal patterns.

The descriptive analysis of the determinants of the baseline mortality fluctuations was then used to build the method for identifying and quantifying unusual excess mortality.

4. Retrospective analyses of excess mortality during the Blue Tongue (BT) epidemics in France

An epidemic of BT serotype 8 started in France in 2006 with seven outbreaks in the North-East, then spread throughout the country in 2007 and 2008 causing more than 40,000 outbreaks (Coroller et al., 2008; Durand et al., 2010). The impact of these outbreaks on cattle mortality was poorly documented (Szmaragd et al., 2007; Elbers et al., 2008c; Le Gal et al., 2008; Santman-Berends et al., 2011). We therefore used the NCR to estimate excess mortality observed during this epidemic, according to a method in three steps developed by human health agencies (Fouillet et al., 2006; Rey et al., 2007).

We first studied the evolution of mortality in Meuse (Perrin et al., 2010b), a department in Northern France that was strongly hit by the disease in 2007 and 2008. We identified in this department a clear correlation between the weekly evolution of the excess mortality (O–E) and the weekly number of BT infected herds notified.

We then applied a similar approach in each French department and described the excess mortality which

occurred by week and department during the spread of the BT epidemics (Perrin et al., 2010a). Through this approach, we identified an excess of about 125,000 cattle deaths in 2008 in France. The spatiotemporal distribution of departmental mortality ratios (O/E) suggested that the excess mortality estimated during this period was related to the BT epidemic (Fig. 3).

We identified a clear correlation between the spatiotemporal distributions of significant weekly excess mortality and outbreak notifications, even if the matching was not perfect.

Certain of these mismatches could be due to under-reporting of BT outbreaks. Some farmers were indeed reluctant to report suspect clinical situations because they feared social and economic consequences (Elbers et al., 2007). In infected regions of the Netherlands, an increased mortality was observed not only in herds of which the farmer notified clinical signs but also in non-notification herds (Santman-Berends et al., 2011), which supports the hypothesis that the BT infection was not always identified, or at least reported.

It is also possible that other local health events played a role: for example the model did not take into account climate factors and thus did not adjust for heat waves or cold snaps that could possibly affect mortality.

We observed that in many departments mortality was still exceeding the expectations several weeks or months after the wave of outbreaks. It seemed likely that most of these excess deaths were delayed deaths also related to the epidemics: deaths of calves born from previously infected mothers have often been reported (Elbers et al., 2008a,b; Zanella et al., 2009). This approach was thus useful for completing the information given by classical approaches based on surveys, which overlook some delayed deaths when they are carried out too soon after the epidemic (Szmaragd et al., 2007), and suffer from memory biases when they are done too long afterwards.

5. Discussion

5.1. Possible benefits of a timely mortality monitoring system

If they had been available in real time, estimates of mortality excess would have given information on the spreading of the BT epidemics and its impact, which could have helped decision makers to adapt control measures. Considering the contemporaneity observed between the first outbreak declarations and the increase of mortality in some departments, monitoring mortality could even have helped detecting the introduction of the disease. Since it is an unspecific indicator, the timely monitoring of mortality could help detect and/or assess the impact in real time not only of infectious diseases such as BT, but of a broad range of health events.

At present, the NCR is not updated rapidly enough for these purposes, but the FSDI, which collects disposal data on a daily basis, could be used to achieve this goal. Considering the work needed to implement such a system, it is

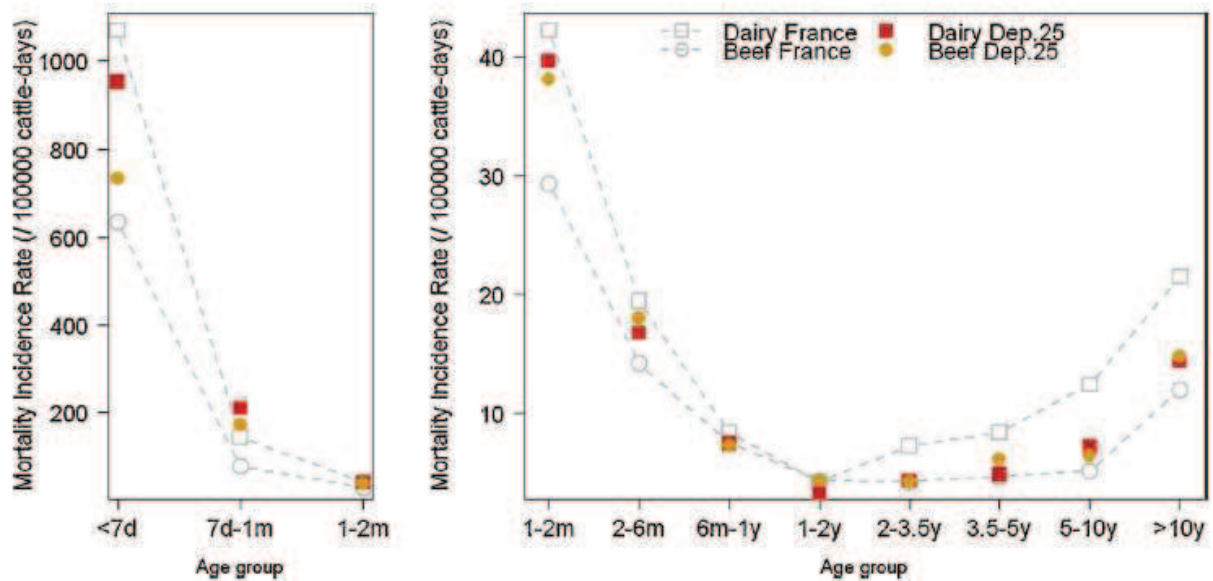


Fig. 1. Mortality Incidence Rates of cattle by age group and production type, in France and in Department of the Doubs (25), 2003–2009.

first necessary to question the feasibility and the benefits of this approach for the surveillance of cattle population health.

For public health, several mortality monitoring systems have already been implemented with the purpose of detecting and measuring, on a real-time basis, excess numbers of deaths related to influenza, heat waves or other possible threats to public health (Simonsen et al., 1997; Johnson et al., 2005; Jossieran et al., 2006; Kanieff et al., 2010; Nogueira et al., 2010). These systems have not yet proven their ability to detect dangers earlier than classical surveillance systems currently in place, but they have already demonstrated their value for real time assessment

of identified, but unexpected and potentially dangerous events.

Similarly for surveillance of cattle populations, the question to be asked is whether mortality monitoring could be used for early detection of unexpected events, or only for rapid evaluation of the impact (or absence of impact) of identified events. Apart from the issue of sensitivity (only diseases with sufficient prevalence and case fatality rate would be good candidates for this type of surveillance), mortality monitoring may lack the timeliness to achieve early detection. Considering the promptness of data transmission and the existing anomaly detection tools (see Section 5.2.1), FSDI is expected to allow rapid

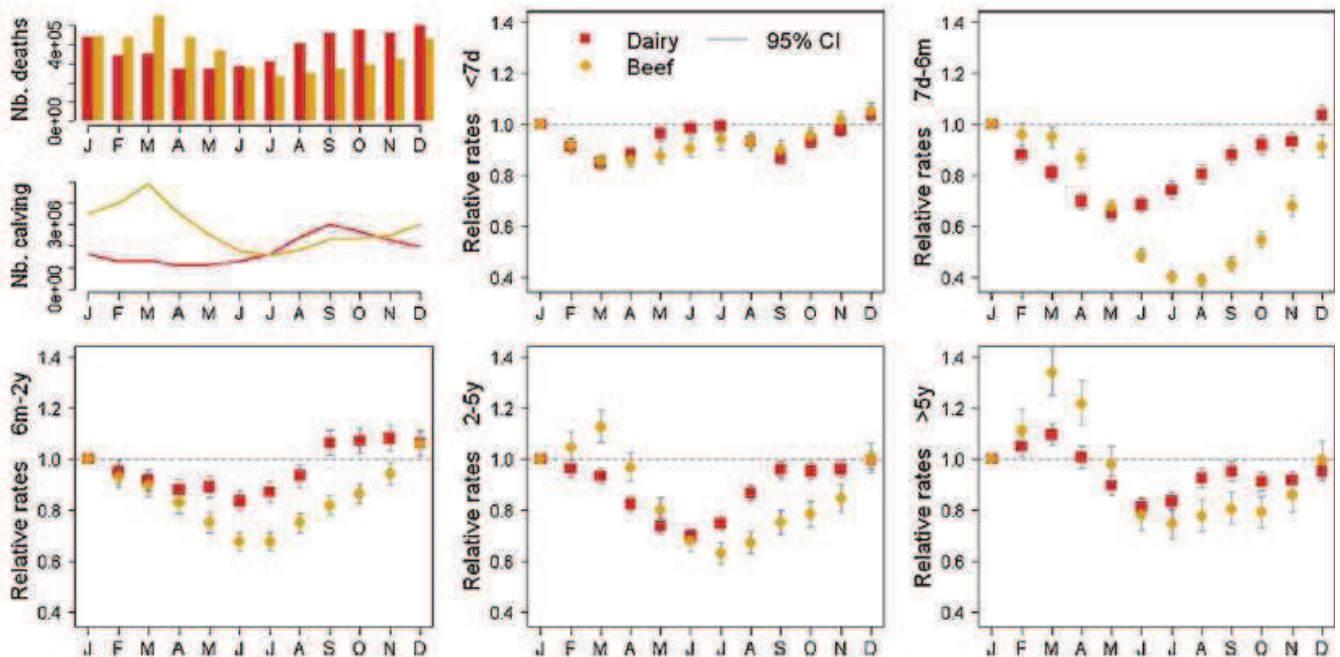


Fig. 2. Monthly distribution of number of deaths and calving by production type (topleft), and monthly relative Mortality Incidence Rates (January being the reference) by production type and age group, in France from 2003 to 2009.

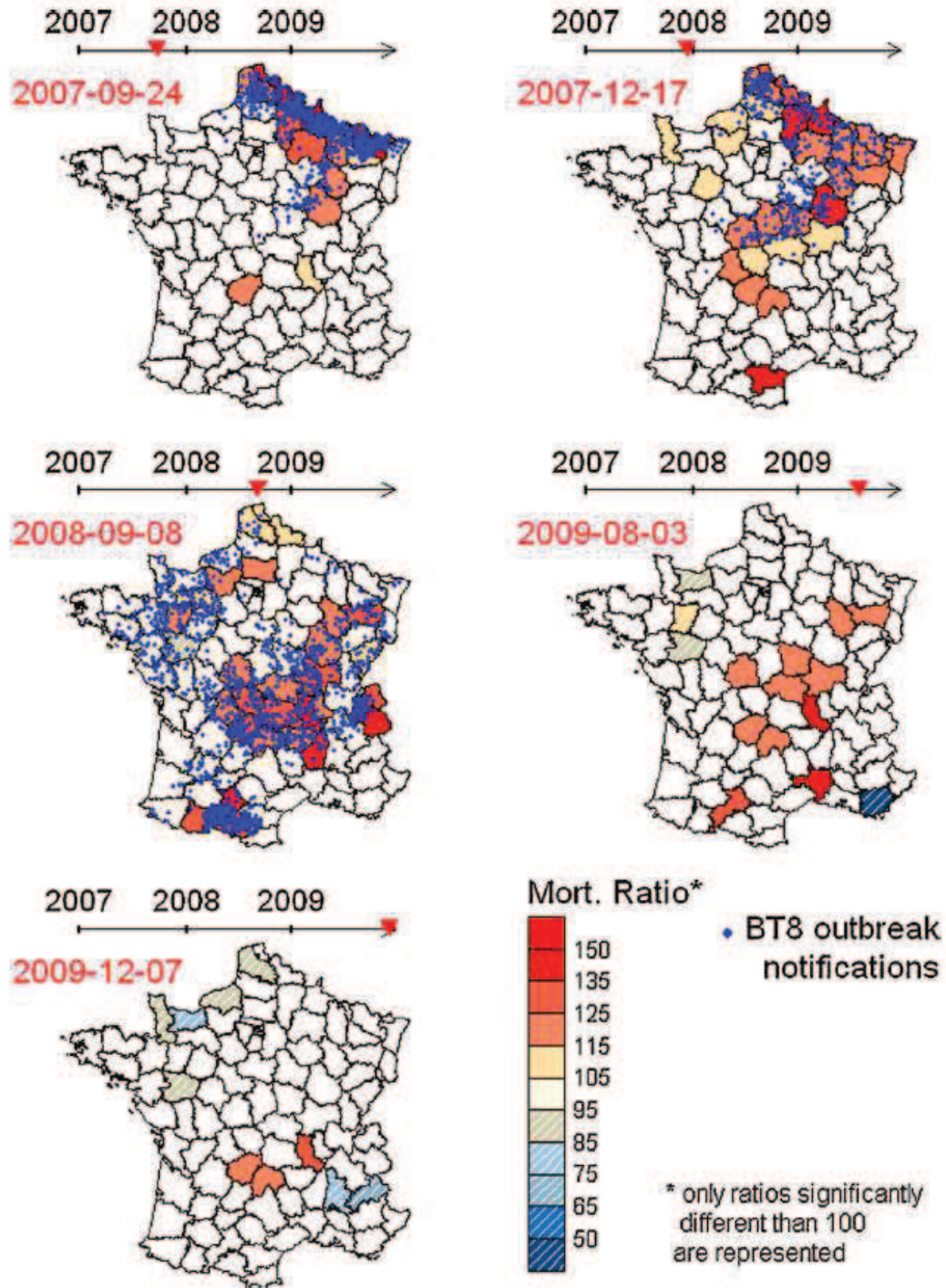


Fig. 3. Departmental mortality ratios* (observed/expected number of deaths) and BT8 outbreak notifications (one blue point = one postcode) for five chosen weeks, France 2007–2009.

identification of abnormal increases of mortality in cattle. But the question remains as to whether an abnormal increased mortality is a timely signal for detecting unexpected health events. The answer will mainly depend on the time between exposure to the hazard in question and the death of animals. This time can vary considerably depending on factors related to the disease and the animal, but also to non-biological factors such as euthanasia practices, meat prices, slaughtering regulations, etc. When

this delay is long, the probability that the health events can better be detected and notified better through other channels increases, especially when diseased animals show important clinical symptoms.

It is however likely that in certain situations, the detection of an increased mortality could precede the identification of its cause by competent bodies. It might be the case for example in the following situations: when farmers do not notify atypical cases or deaths either to

their veterinarian nor to veterinary services (e.g. because they anticipate socio-economic consequences as in the example of BT, or in the case of animal welfare issues), when the deaths occur suddenly without specific symptoms (e.g. anthrax), or when a high prevalence disease causes an increase in mortality incidence rates too slight to be identified at grass-roots level but sufficient to be detected at a larger scale (e.g. environmental or food contaminations).

But as for human health, if not used for detection purposes, cattle mortality monitoring could be used to produce information rapidly on the impact and the evolution of identified events that would facilitate decision-making concerning management measures (deploying of adequate control measures) and improve the communication (reassurance of the population through the media).

5.2. Technical and methodological challenges

5.2.1. Optimizing notification delays

The mean delay between death and its notification in the FSDI affects the *timeliness* of the detection whereas its variance can affect its *sensitivity* (Farrington and Andrews, 2004). Disposal requests are the most rapidly available of the two types of data transmitted through the FSDI system (Fig. 4) and seem thus to be the most appropriate indicator for a timely surveillance system.

The time between the occurrence of a death on a farm and the recording of the disposal request in FSDI depends on the time elapsed between: the death and the discovery of the cadaver by the farmer (D_2); the discovery of the cadaver and the disposal request (D_3); and the disposal request and its recording in the FSDI (D_5). D_2 (equal to zero in case of euthanasia) is related to the herd surveillance intensity, usually higher in dairy than in beef farms, higher in winter than in summer, and higher on weekdays than during week-ends. D_3 is defined by the French regulations (Rural Code, Article L226-6) and should normally not exceed 48 hours. This period apparently varies depending on the weekday and the fallen stock request systems (see below). Moreover, farmers are allowed to preserve cadavers of less than 100 kg in refrigerated stations up to two months before requesting their disposal. For now, these practices are seldom in cattle production but they may be more common in the future, which could affect the timeliness of the system.

Finally, the notification delay, D_5 (and D_6), is directly related to technical constraints affecting the data interchange system. At present, median, mean and variance are respectively 2, 2.7 and 2.9 days for D_5 (and respectively 7, 16 and 23 days for D_6). Because data transmission is not instantaneous, on day d , some data related to disposal requests made on days d_1 , d_2 , etc. are missing in FSDI and are only updated on the following days (see black, blue and green figures for the last days of the disposal request curve in Fig. 5) (For interpretation of the references to color in text, the reader is referred to the web version of the article.).

Since attempting to detect anomalies with incomplete data can produce poor results, it may be necessary to conduct analysis after a buffer period, sufficient to consider

data as fully updated. There will inevitably be a trade-off between completeness and timeliness.

5.2.2. Collecting additional information

FSDI was not implemented for surveillance purposes, and thus does not collect information on the cause of death contrary to most of the systems existing in human health. Having information on the cause of death could improve the sensitivity of the system (e.g. if the MIR associated to a specific cause increased whereas the all-causes rate remains stable) and above all help interpreting the aberrations identified. We are thus currently evaluating the possibility to ask farmers to record the cause of death when they request the disposal of cattle, through a simplified standardized classification, which would allow them to distinguish several type of deaths such as accidents (slip, fall, drowning, etc.), calving-related deaths, deaths associated to respiratory or enteric syndromes, etc. A field for the cause of death could be easily added in the notification system (notably for requests done on the internet) but the benefit of such information, which would not be as reliable as a diagnosis done by a veterinarian, needs to be evaluated.

5.2.3. Choosing the scale of surveillance

Mortality monitoring systems do not target a specific disease and could theoretically detect various types of health events (infectious disease outbreaks, environment or food contaminations, extreme weather events), on condition that they sufficiently modify the baseline mortality. However, depending on their nature, these health events can cause excess deaths that are distributed differently in space, time, and population: for example the spread of a chronic disease could slightly increase mortality in the whole population whereas a heat wave would cause a sudden increase of mortality in higher susceptible population subgroups (e.g. calves and older cows).

Thus it is necessary to define the most adequate level of aggregation in terms of time, space and individual (e.g. age, production type) factors, at which mortality should be monitored. Since the main interest of such an unspecific system is to detect unexpected events, it seems however difficult a priori to identify the subpopulation groups for surveillance. Similarly the most suitable spatial scale cannot be easily defined: a system able to identify problems at the herd level would be the most convenient for risk managers, whereas significant abnormal increases of mortality will often be identifiable only at regional or national level. Another trade-off between accuracy of the alerts and stratification of the dataset will also be necessary. This could be done by implementing a procedure where time series of disposal requests are monitored at different population and spatial scales, in parallel or in a hierarchical manner.

Regarding the time scale of the surveillance, it is tempting to monitor mortality at a daily scale since the exact date of requests is available. Modelling baseline daily fluctuations of disposal requests is challenging however, because their number is not randomly distributed over the week, but is heavily influenced by the particular work organization of each fallen stock company, and by the farmers' behaviour. In routine circumstances, most of these companies do not collect cadavers during the week-end or bank

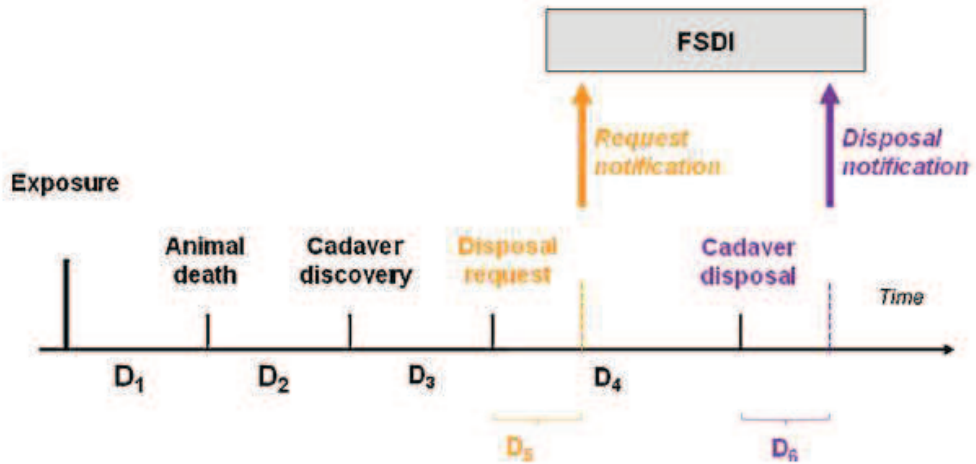


Fig. 4. Timeline of the death notifications.

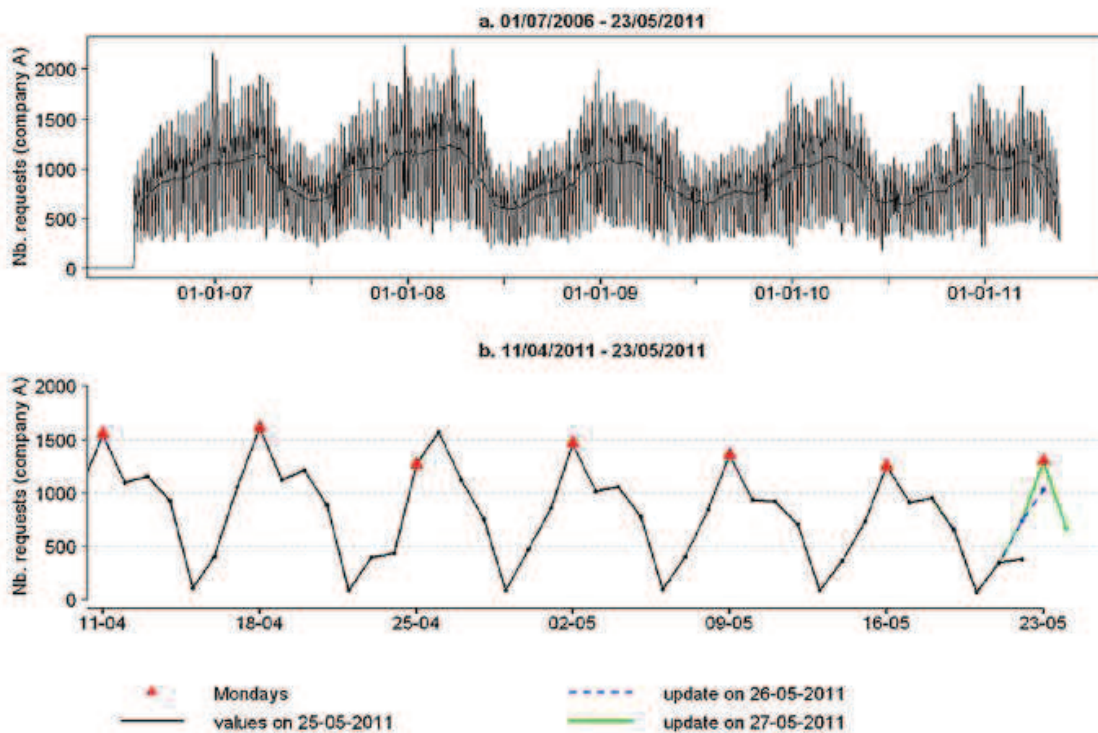


Fig. 5. Daily number of farms requesting disposal from company A, from 01/07/2006 to 23/05/2011 (a) and details from 11/04/2011 to 23/05/2011 (b).

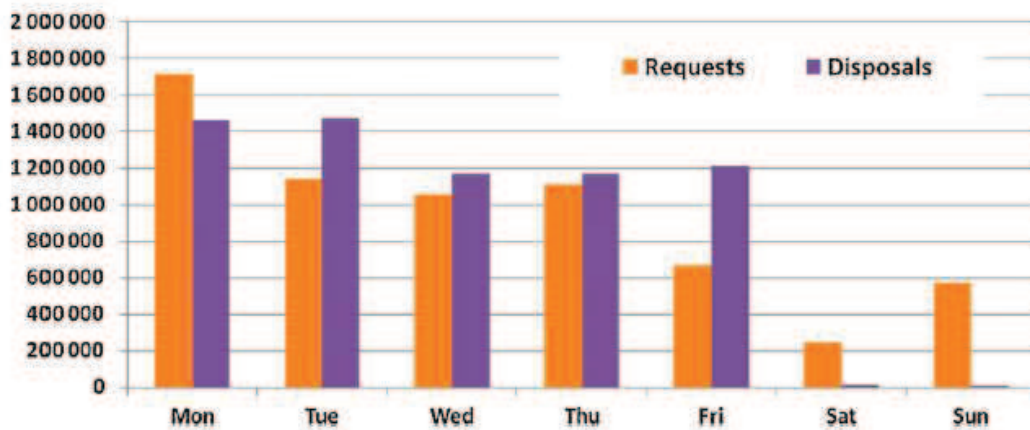


Fig. 6. Number of disposal requests and cadaver disposals by weekday, France 2007–2010.

holidays, and only those having implemented website or automated vocal mailbox can receive and record disposal requests on these days. Consequently at the national scale, the number of disposal requests is lower (but not nil) during the week-ends, and peaks on Mondays (Fig. 6). Besides, it drops on Fridays and Saturdays, but rises again on Sundays, probably because most farmers consider it is not useful to request disposal when fallen stock companies do not work the day after (requests are rarely treated the same day).

Modelling a systematic weekday effect in a time series can be done quite easily, for example by introducing a variable for the day of the week in a Poisson model (Brillman et al., 2005). But the activity of companies will also depend on more random events (special holidays, strikes, technical problems, etc.) that could make this task more difficult. Fig. 5 shows for example how the daily number of disposal requests can be affected by a bank holiday (24/05/2011 was Easter Monday). The challenge presented by the capture of daily data could be overcome by aggregating the data at a larger time scale (e.g. weekly scale), but the gains in terms of stability of the indicator would be accompanied by loss of information and timeliness, which needs to be evaluated.

5.2.4. Choosing detection methods

Many algorithms have been developed and used for rapid anomaly detection (Buckeridge et al., 2005; Hohle et al., 2009), each having its own advantages and disadvantages. Besides the characteristics of the baseline and the signal to be detected, the choice of a detection method will be motivated by various criteria among which are the length of the historical dataset available (C-methods (Hutwagner et al., 2005), for example, require shorter historical datasets than methods based on regression models (Serfling, 1963) or the historical mean method (Stroup et al., 1989)), the complexity of the method in relation to the available human and technical resources, the degree of automation expected, etc.

Performances of algorithms can be evaluated by several indicators, among which the average run length until the first false alarm (ARL^0) and the average run length until an alarm when the process is in an out-of-control state (ARL^1) (Sonesson and Bock, 2003). Besides the choice of the method, the detection performances will depend on factors related to the baseline process (mean and variance) and the signal (moment, amplitude, shape) (Buckeridge, 2007). These performances can be estimated by applying the chosen algorithms on historical (when available) and/or simulated data (Reis et al., 2003; Wang et al., 2005).

Whatever detection methods are used, arbitrary choices will have to be made regarding alarm thresholds. Lower thresholds can increase the sensitivity of the algorithm, but it is also essential to minimize the number of false alerts so that stakeholders remain strongly and durably committed even during uneventful periods. Special attention should be thus given to the interpretation of the aberrations identified by statistical tools.

5.2.5. Interpreting statistical alarms

Specificity of the system will depend heavily on the relationship between the indicator (e.g. number of disposal

requests) and the real health status of the population under surveillance. For example, an increase in disposal requests can reflect a real increase in mortality due to impaired sanitary conditions but also a real increase of mortality unrelated to the sanitary status of the population (e.g. ban on emergency slaughtering leading to the euthanasia of injured cattle), or even an artifact due to a change in the regulation and/or in the notification process (e.g. obligation to dispose of newborns through fallen stock companies). Statistical alarms produced by systems based on the monitoring of non-specific data should thus be carefully interpreted before being converted into epidemiological alerts and transmitted to field investigators. An in-depth study of the variation factors of the monitored health parameter should thus be carried out before running the system for surveillance, in order to facilitate the rapid interpretation of anomalies detected day-to-day (Alton et al., 2010).

6. Conclusion

In France, many data on cattle mortality are routinely collected for purposes other than epidemiological ones (census and disposal data). The resulting databases represent a multipurpose source of information for epidemiologists and risk managers. The retrospective analyses we conducted on the data gathered in the NCR allowed us to describe and identify the determinants of the baseline for cattle mortality, and to evaluate the impact of the 2007–2008 BT epidemics on the French cattle population. Moreover, preliminary work we carried out on the FSDI demonstrated the potential benefits of mortality monitoring for epidemiological surveillance, even if important technical and methodological challenges still need to be solved. The timely monitoring of non-specific health indicators, or syndromic surveillance, is a novel approach in epidemiological surveillance, which was first developed in human health in the early 2000s (Lazarus et al., 2001; Buehler et al., 2004) and more recently in veterinary medicine (see Dorea et al., 2011, for a review). Even if such systems seem highly cost-effective (the costs are only those of data management and analysis and of displaying investigations following alerts), their real advantage compared to existing surveillance systems still needs to be fully evaluated (Reingold, 2003). However, considering the promptness of the notification made through cadaver disposal requests by farmers in France, we expect that the timely mortality monitoring system we are implementing could help early detection of emerging diseases or new animal health threats. In circumstances where it cannot achieve this purpose, it will at least represent a useful and efficient tool for monitoring epidemics, making it possible to rapidly evaluate their case fatality rate and the efficiency of control measures.

Conflict of interest

The author and co-authors of this manuscript have no conflict of interest, real or perceived.

Acknowledgements

This work was developed through a PhD thesis funded by the French Ministry of Agriculture.

Access to data was given by the Bureau de la maîtrise d'ouvrage des systèmes d'information de l'alimentation (BMOSIA). The authors especially thank André Gauffier for his commitment.

References

Alton, G.D., Pearl, D.L., Bateman, K.G., McNab, W.B., Berke, O., 2010. Factors associated with whole carcass condemnation rates in provincially inspected abattoirs in Ontario 2001–2007: implications for food animal syndromic surveillance. *BMC Vet. Res.* 6, 11.

Bonjour, P., Gauffier, A., Perrin, J.-B., 2010. Animal mortality: a multi-purpose source of information. The French experience. In: Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine-Inter-departmental subject scientific collection (Ed.), International Scientific Conference on Modern Systems of Bio-safety and Bio-security in the Veterinary Medicine, Feodosia, Ukraine, p. 386.

Brillman, J.C., Burr, T., Forslund, D., Joyce, E., Picard, R., Umland, E., 2005. Modeling emergency department visit patterns for infectious disease complaints: results and application to disease surveillance. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.* 5, 4.

Buckeridge, D.L., 2007. Outbreak detection through automated surveillance: a review of the determinants of detection. *J. Biomed. Inform.* 40, 370–379.

Buckeridge, D.L., Burkom, H., Campbell, M., Hogan, W.R., Moore, A.W., 2005. Algorithms for rapid outbreak detection: a research synthesis. *J. Biomed. Inform.* 38, 99–113.

Buehler, J.W., Hopkins, R.S., Overhage, J.M., Sosin, D.M., Tong, V., 2004. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks. *MMWR Recomm. Rep.* 53, 1–11.

Coroller, F., Balenghien, T., Zanella, G., Durand, B., Bouillet, C., Zientara, S., 2008. Premier Bilan de l'épizootie 2007 de FCO à sérotype 8, en France. *Bull. Group Tech. Vet.* 45, 101–105.

Dorea, F.C., Sanchez, J., Revie, C.W., 2011. Veterinary syndromic surveillance: current initiatives and potential for development. *Prev. Vet. Med.* 101, 1–17.

Durand, B., Zanella, G., Biteau-Coroller, F., Locatelli, C., Baurier, F., Simon, C., Le Drean, E., Delaval, J., Prengere, E., Beaute, V., Guis, H., 2010. Anatomy of bluetongue virus serotype 8 epizootic wave, France, 2007–2008. *Emerg. Infect. Dis.* 16, 1861–1868.

Elbers, A.R., Backx, A., Ekker, H.M., van der Spek, A.N., van Rijn, P.A., 2008a. Performance of clinical signs to detect bluetongue virus serotype 8 outbreaks in cattle and sheep during the 2006-epidemic in The Netherlands. *Vet. Microbiol.* 129, 156–162.

Elbers, A.R., Backx, A., Meroc, E., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., Mintiens, K., 2008b. Field observations during the bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. I. Detection of first outbreaks and clinical signs in sheep and cattle in Belgium, France and the Netherlands. *Prev. Vet. Med.* 87, 21–30.

Elbers, A.R., Backx, A., Mintiens, K., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., 2008c. Field observations during the Bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. II. Morbidity and mortality rate, case fatality and clinical recovery in sheep and cattle in the Netherlands. *Prev. Vet. Med.* 87, 31–40.

Elbers, A.R., Mintiens, K., Staubach, C., Gerbier, G., Meroc, E., Ekker, H.M., Conraths, F.J., Van der Spek, A.N., Backx, A., 2007. Nature and severity of disease in sheep and cattle. Appendix II. Epidemiological analysis of the 2006 bluetongue virus serotype 8 epidemic in north-western Europe. *Eur. Food Saf. Authority*.

Farrington, C.P., Andrews, N.J., 2004. Statistical aspects of detecting infectious disease outbreaks. In: Brookmeyer, R.S.D. (Ed.), *Monitoring the Health of Populations: Statistical Principles and Methods*. Oxford University Press, p. 36.

Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyaux, C., Clavel, J., Jougla, E., Hemon, D., 2006. Excess mortality related to the

August 2003 heat wave in France. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 80, 16–24.

Hohle, M., Paul, M., Held, L., 2009. Statistical approaches to the monitoring and surveillance of infectious diseases for veterinary public health. *Prev. Vet. Med.* 91, 2–10.

Hutwagner, L.C., Thompson, W.W., Seeman, G.M., Treadwell, T., 2005. A simulation model for assessing aberration detection methods used in public health surveillance for systems with limited baselines. *Stat. Med.* 24, 543–550.

Johnson, H., Kovats, R.S., McGregor, G., Stedman, J., Gibbs, M., Walton, H., 2005. The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Euro. Surveill.* 10, 168–171.

Josseran, L., Nicolau, J., Caillere, N., Astagneau, P., Brucker, G., 2006. Syndromic surveillance based on emergency department activity and crude mortality: two examples. *Euro. Surveill.* 11, 225–229.

Kanieff, M., Rago, G., Minelli, G., Lamagni, T., Sadicova, O., Selb, J., Vantarakis, A., Conti, S., 2010. The potential for a concerted system for the rapid monitoring of excess mortality throughout Europe. *Euro. Surveill.* 15.

Lazarus, R., Kleinman, K.P., Dashevsky, I., DeMaria, A., Platt, R., 2001. Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection. *BMC Pub. Health* 1, 9.

Le Gal, M.C., Dufour, B., Geoffroy, E., Zanella, G., Moutou, F., Millemann, Y., Rieffel, J.N., Pouilly, F., 2008. Bluetongue virus serotype 8 in the Ardennes in 2007. *Vet. Rec.* 163, 668.

Nogueira, P.J., Machado, A., Rodrigues, E., Nunes, B., Sousa, L., Jacinto, M., Ferreira, A., Falcao, J.M., Ferrinho, P., 2010. The new automated daily mortality surveillance system in Portugal. *Euro. Surveill.* 15.

Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Calavas, D., Hendrikx, P., 2010a. Modélisation de la mortalité bovine en vue d'estimer l'impact de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine en France (2007–2009). *Epidemiol. et santé anim.* 57, 69–80.

Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Gauffier, A., Calavas, D., Hendrikx, P., 2010b. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics* 2, 207–214.

Reingold, A., 2003. If syndromic surveillance is the answer, what is the question? *Biosecur. Bioterror.* 1, 77–81.

Reis, B.Y., Pagano, M., Mandl, K.D., 2003. Using temporal context to improve biosurveillance. *PNAS* 100, 1961–1965.

Rey, G., Jougla, E., Fouillet, A., Pavillon, G., Bessemoulin, P., Frayssinet, P., Clavel, J., Hemon, D., 2007. The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 80, 615–626.

Santman-Berends, I.M., van Schaik, G., Bartels, C.J., Stegeman, J.A., Vellema, P., 2011. Mortality attributable to bluetongue virus serotype 8 infection in Dutch dairy cows. *Vet. Microbiol.* 148, 183–188.

Serfling, R.E., 1963. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Pub. Health Rep.* 78, 494–506.

Simonsen, L., Clarke, M.J., Stroup, D.F., Williamson, G.D., Arden, N.H., Cox, N.J., 1997. A method for timely assessment of influenza-associated mortality in the United States. *Epidemiology* 8, 390–395.

Sonesson, C., Bock, D., 2003. A review and discussion of prospective statistical surveillance in public health. *J. Roy. Stat. Soc.* 166, 5–21.

Stroup, D.F., Williamson, G.D., Herndon, J.L., Karon, J.M., 1989. Detection of aberrations in the occurrence of notifiable diseases surveillance data. *Stat. Med.* 8, 323–329 (discussion 331–322).

Szmaragd, C., Wilson, A., Carpenter, S., Mertens, P.P., Mellor, P.S., Cubbins, S., 2007. Mortality and case fatality during the recurrence of BT-8 in northern Europe in 2007. *Vet. Rec.* 161, 571–572.

Wang, L., Ramoni, M.F., Mandl, K.D., Sebastiani, P., 2005. Factors affecting automated syndromic surveillance. *Artif. Intell. Med.* 34, 269–278.

Zanella, G., Biteau-Coroller, F., Chartier, C., Bertrand, V., Bonnevie, D., Bosquet, G., Defachelles, J., Jolivet, F., Mayer, A., Ramette, A., Van Roy, M., Vignault, G., Locatelli, C., Simon, C., Le Dréan, E., Delaval, J., Prengère, E., Beauté, V., Durand, B., 2009. Retour d'expérience sur la FCO sérotype 8 en 2007: signes cliniques et prévalence. *Bull. Group. Tech. Vet.* 50, 87–95.

3.4 Evaluation des performances d'une méthode de détection d'anomalies par simulation

Evaluer globalement la capacité d'un dispositif à détecter une menace nouvelle, qui par définition a une nature et une origine inconnues et touchera une population à un endroit et un moment inconnus, semble difficile si ce n'est impossible. Seule l'expérience tirée de dispositifs opérationnels paraît pouvoir véritablement confirmer cette capacité. Mais comme l'émergence de nouvelles menaces est un phénomène peu fréquent, rares sont les occasions où les dispositifs d'alerte précoce peuvent démontrer leur efficacité.

En revanche, il est possible d'évaluer les performances d'un algorithme pour détecter certains types de signaux au sein d'un flux de données existant. Le dernier de nos travaux a donc consisté à proposer une méthode d'identification des augmentations inhabituelles de mortalité, automatisable et applicable aux données existantes, et à en évaluer les performances pour détecter l'apparition et la propagation d'une maladie contagieuse dont nous avons simulé la propagation dans le cheptel bovin (Article 5). Cet article, en préparation, sera soumis à la revue scientifique *Epidemics*.

3.4.1 Objectif et procédure

L'objectif de l'étude était d'évaluer si une méthode conçue pour identifier des augmentations inhabituelles de mortalité pouvait permettre de détecter les foyers d'une maladie contagieuse se propageant dans le cheptel bovin.

Pour ce faire, nous avons :

- modélisé la diffusion d'une maladie contagieuse se propageant au sein et entre les exploitations bovines, de proche en proche et par les échanges d'animaux vivants ;
- modélisé la survenue de morts excédentaires dues à la maladie dans les élevages infectés ;
- injecté les morts excédentaires dans un jeu de données réel extrait de la BDNI ;
- recherché des signaux anormaux dans le jeu de données semi-synthétique ainsi créés à l'aide de la méthode décrite ci-après ;
- défini et estimé différents indicateurs reflétant la sensibilité, spécificité et précocité de l'approche pour détecter l'introduction de la maladie.

3.4.2 Choix de la méthode de détection d'anomalies à évaluer

Comme nous l'avons évoqué au paragraphe 3.2, considérant les données à notre disposition et l'éventail des méthodes de détection d'anomalies disponibles, de nombreuses stratégies étaient envisageables pour rechercher des augmentations inhabituelles de mortalité.

3.4.2.1 Approches envisagées

Nous avons initialement envisagé de rechercher ces augmentations inhabituelles en analysant certaines séries temporelles de mortalité, selon une approche similaire à celle utilisée dans notre analyse rétrospective des effets de la FCO. Mais pour cette étude où le signal à identifier était inconnu *a priori*, la question s'est posée de savoir quelles étaient les séries à construire et à analyser, considérant les nombreux degrés d'agrégation spatiaux de

« type administratif » (de l'exploitation à l'échelle nationale) et démographiques (par exemple sur l'âge) envisageables (Tableau 31).

Tableau 31 : Nombre de séries à analyser selon le choix d'agrégation spatiale et populationnelle, dans le cas où la zone d'étude est la France

Agrégation spatiale \ Agrégation populationnelle	Aucune	« Tous » + 4 catégories d'âge
Nationale	1	5
Super régions	6	30
Régions	22	110
Départements	96	480
Cantons	4 000	20 000
Communes	36 000	180 000
Exploitations	220 000	1 100 000
TOTAL	260 134	1 300 670

Nous avons imaginé trois stratégies pour analyser ces séries chronologiques et y détecter d'éventuelles anomalies.

La **première stratégie** était d'analyser toutes les séries chronologiques pouvant être construites dans l'espace d'étude (1 300 670 séries pour la France). L'avantage de cette approche était de rechercher des signaux à tous les niveaux où ils sont susceptibles d'apparaître. Sa limite était de reposer sur une multiplicité des tests (égal au nombre de séries multiplié par le nombre de points à tester dans chaque série), ce qui pose des difficultés tant au niveau de la ressource informatique, que de l'interprétation des résultats (problématique des tests multiples).

La **seconde stratégie** était de définir *a priori* les séries à construire et de se limiter à l'analyse de ces séries. Nous aurions ainsi pu limiter par exemple l'analyse aux séries nationale, régionales et départementales, et sans prendre en compte l'âge. L'avantage de cette stratégie était de pouvoir adapter l'analyse aux capacités informatiques disponibles, de limiter le nombre de tests et de faciliter l'interprétation des résultats. En revanche elle risquait de manquer des signaux identifiables à d'autres niveaux d'agrégation.

La **troisième stratégie** envisagée était d'appliquer une procédure « hiérarchique » de construction et d'analyse des séries. Par exemple, dans un premier temps seules les séries régionales auraient été construites et analysées, puis les séries départementales n'auraient été analysées que pour les régions où des anomalies auraient été détectées, et ainsi de suite, jusqu'à l'élevage. Comme avec la deuxième stratégie, le nombre de tests à réaliser est ainsi limité, tout en gardant la possibilité de cibler précisément l'origine du signal. En revanche, certains signaux identifiables dans des niveaux d'agrégation plus faibles (ou plus élevés selon le sens de la hiérarchisation des tests), mais qui ne le sont pas au premier niveau étudié auraient été manqués.

Il est vite apparu qu'aucune de ces stratégies n'étaient pleinement satisfaisante. Nous avons donc décidé de compléter l'analyse des séries temporelles par une analyse spatiale.

3.4.2.2 Approche adoptée

La méthode que nous avons choisi d'appliquer consistait à rechercher, par le biais des statistiques de scan, des agrégats d'unités géographiques en excès de mortalité par rapport à leurs propres fluctuations historiques.

Pour faciliter l'analyse spatiale et travailler à une échelle intermédiaire entre le département, jugé trop grand, et l'exploitation, où le nombre de morts est trop faible pour appliquer ce type d'analyse, nous avons choisi d'utiliser une unité d'agrégation spatiale intermédiaire et scindé le territoire en 1 165 hexagones réguliers de 25 km de diamètre.

Dans chaque hexagone, nous avons construit des séries chronologiques de taux de mortalité puis ajusté un modèle de Poisson sur une période de calibration allant du 1^{er} janvier 2005 jusqu'au 3 novembre 2008. Nous avons ensuite utilisé ces modèles pour prédire le nombre de morts hebdomadaires dans chaque hexagone pendant une période de test de 65 semaines. Nous avons ensuite, pour chaque semaine de la période de test, analysé à l'aide des statistiques de scan l'ensemble des hexagones pour identifier les regroupements d'hexagones présentant des excès de mortalité par rapport à leur propre historique.

Ainsi cette méthode permettait de prendre en compte l'ensemble du territoire français pour identifier des zones restreintes présentant une mortalité inhabituelle.

3.4.3 Méthode d'évaluation

Nous avons évalué la capacité de cette approche pour détecter des augmentations anormales de mortalité causée par des foyers infectieux que nous avons simulés. Tout d'abord, nous avons simulé 1 000 foyers causant des morts supplémentaires selon un modèle imitant la propagation d'une maladie infectieuse et avons injecté ces morts dans un jeu de données réel de la BDNI. Ensuite, nous avons appliqué notre algorithme sur chacun des 1 000 jeux de données semi-synthétiques pour identifier les agrégats d'unités spatiales montrant un excès de morts par rapport à leurs fluctuations historiques. Enfin, nous avons vérifié si les agrégats identifiés par l'algorithme contenaient les morts supplémentaires qui avaient été ajoutées.

Nous avons choisi d'évaluer la méthode de détection d'anomalies par simulation, en injectant des signaux simulés dans un jeu de données réel. Cette approche a déjà été utilisée en surveillance syndromique en santé humaine. Une équipe a par exemple simulé la dispersion de spores d'anthrax, l'infection des personnes exposées, la progression de la maladie chez les personnes infectées et l'utilisation des systèmes de soins pour ensuite injecter ce signal dans des enregistrements réels de données sur les visites aux urgences et tenter de le détecter.

Utiliser des données réelles pour évaluer les performances de détection aurait permis de démontrer plus directement l'efficacité de la méthode (ou son absence d'efficacité) pour un événement particulier. Nous avons notamment initialement envisagé d'évaluer les performances de notre approche à partir de l'épizootie de FCO. En effet, nous disposions d'une base de données nationale contenant les notifications officielles de foyers avec la liste des élevages déclarés infectés et de leur date d'infection. Cependant, comme nous l'avons évoqué dans l'article 3, nous suspectons un sous diagnostic des élevages et des animaux infectés, particulièrement au début de l'épizootie lorsque les éleveurs et les vétérinaires n'étaient pas familiers avec la maladie. L'identification des élevages infectés était par ailleurs compliquée par la crainte des éleveurs vis-à-vis des conséquences économiques et sociales d'une telle déclaration. Or, pour utiliser des données réelles comme gold standard dans une étude de performances, il est nécessaire d'avoir une grande confiance dans les données sur les foyers. Nous savions que les données dont nous disposions ne recensaient pas de manière exhaustive et systématique les foyers survenus, et surtout pas les premiers. Utiliser

ces données réelles n'auraient donc pas permis de distinguer les véritables faux positifs des vrais positifs non identifiés sur le terrain.

Malgré leurs limites, les approches par simulation ont d'autre part l'avantage d'être flexibles et de permettre de refléter tout un éventail de situations, au contraire des données réelles qui ne permettent l'étude que d'un cas particulier.

Pour nous rapprocher de conditions réelles, nous avons décidé de ne pas déterminer la magnitude, la durée, l'espace de propagation et la progression temporelle des foyers que nous avons simulés, mais de modéliser les foyers selon un modèle épidémique prenant en compte la propagation de la maladie à la fois de proche en proche ainsi que par le biais des échanges commerciaux d'animaux vivants. Ainsi nous avons pu évaluer les performances de notre algorithme de détection sur un large éventail de foyers variant par la taille et la forme, ce qui était particulièrement important étant donné que nous travaillions dans le cadre d'un dispositif de surveillance non spécifique.

3.5 Article 5 : Evaluation des performances d'un algorithme pour détecter des augmentations inhabituelles de la mortalité simulées selon un scénario épizootique

Evaluating the performances of an algorithm for detecting abnormal mortality increases simulated according to an epidemic scenario in cattle population

Perrin Jean-Baptiste^{a,c}, Henaux Viviane^a, Durand Benoît^b, Emilie Gay^a, Ducrot Christian^c, Hendrikx Pascal^c, Calavas Didier^a

^a Unité Epidémiologie, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), 31, avenue Tony Garnier, F69364 Lyon Cedex 07, France

^b Unité d'épidémiologie, Anses - Laboratoire de Santé Animale 23 avenue du général de Gaulle 94706 Maisons-Alfort Cedex

^c Unité d'épidémiologie animale, UR346, INRA, 63122, St Genès Champanelle, France

^d Unité de surveillance épidémiologique SURVEPI, Direction scientifique des laboratoires, Anses 27-31 avenue du général Leclerc, F94701 Maisons-Alfort Cedex

*Corresponding author. Email address: jean-baptiste.perrin@anses.fr

Tel : +33 (0)4 78 61 44 17

Fax : +33 (0)4 78 61 91 45

Key words: Syndromic surveillance, mortality, cattle, outbreak detection, performances, simulation

Abstract

We performed a simulation study to evaluate the performances of an anomaly detection algorithm considered in the frame of an automated surveillance system of cattle mortality.

The method that we evaluated was a combination of temporal regression and spatial cluster detection which allows identifying, for a given week, clusters of spatial units showing an excess of deaths in compare to their own historical fluctuations.

First, we simulated 100 outbreaks causing extra deaths in the French cattle population according to a model mimicking the spreading patterns of an infectious disease and injected these disease-related extra deaths in an authentic mortality dataset. Second, we applied our algorithm on each of the 100 semi-synthetic dataset obtained by simulation to identify clusters of spatial units showing an excess of deaths considering their own historical fluctuations. Third we verified if the clusters identified by the algorithm did contain simulated extra deaths in order to evaluate the ability of the algorithm in identifying unusual mortality clusters caused by an outbreak.

Among the 100 simulations, the median duration of simulated outbreaks was 8 weeks, with a median number of 4,678 simulated deaths and 408.5 infected herds. 75% of the outbreaks simulated were detected within the 12-week trial period. The median timeliness for detection among these successful simulations was 1 week, with a mean of 1.96 weeks.

The results of our study confirmed that in certain conditions automated algorithms could help identifying abnormal cattle mortality increases possibly related to unidentified health events.

Introduction

Most public health agencies of developed countries have collected for a long time human mortality data in order to monitor chronic diseases, plan public health programs or evaluate their efficiency (Gergonne, 2010). These purposes did not require data to be collected and analyzed in a timely manner. But after the heat wave that hit Europe in 2003, several countries implemented systems aimed at rapidly detecting sudden increases of human mortality. A European project, called EuroMoMo (European Mortality Monitoring) and gathering 20 Member States, was notably launched in 2008 to promote and implement weekly surveillance of mortality in Human population at the European level, in order to possibly detect health threats such as major epidemics, extreme weather events and deliberate or accidental release of biological or chemical agents (Gergonne, 2010; Kanieff et al., 2010). In animal health, mortality surveillance systems dedicated to early warning are uncommon although many data are routinely collected, notably through national registers and rendering plants. These huge databases, which are theoretically comprehensive and rapidly updated, have regularly been used for retrospective analyses but not for implementing prospective surveillance systems.

In 2009, a research project was launched with the aim of using cattle mortality data that are already routinely collected in France to monitor cattle population health and report unusual mortality patterns. Retrospective studies were first carried out to model the cattle mortality baseline in France (Perrin et al., 2011) and assess the impact of the 2008 Bluetongue disease epidemics (Perrin et al., 2010). These studies confirmed the quality of the two databases available, the National cattle register (NCR) and the Fallen stock data interchange (FSDI), and their potential suitability for surveillance (Perrin et al., 2012). However, the most adequate methods to prospectively analyse the continuous flow of cattle mortality data and rapidly identify anomalies still needed to be identified.

Many methods for detecting outbreaks have already been considered for epidemiological surveillance, most being based on the detection of anomalies in time series (Farrington and Andrews, 2004). The choice of a particular algorithm to detect unusual signals (e.g., abnormal increases of deaths) in the evolution of an health indicator remains difficult since their performances greatly vary according to factors related to the signal to be detected (time of onset, magnitude, space and time progression), the baseline of the indicator monitored (incidence, shape and variation) and the system itself (data source, data quality, processing frequency...).

Evaluating the performance of outbreak detection methods is thus essential to assess their efficiency in detecting early and accurately signals that indicate changing health patterns (Mandl et al., 2004). Two main types of approaches of evaluation can be considered: Epidemiological and Simulation approaches (Watkins et al., 2006). The Epidemiological approach is based on authentic outbreaks which occurrence is determined by objective criteria derived from epidemiological investigations or by expert judgment. This approach can be carried out prospectively when the surveillance system is operational, by describing which naturally occurring outbreaks are detected and missed (Buehler et al., 2004). In the absence of historical data containing known examples of events a surveillance system is designed to detect, evaluation of the detection system performances is only possible using simulation (Groenewold, 2007). In contrast to studies based on authentic datasets which can only estimate performances for a particular event in certain conditions, simulation studies are flexible and allow more comprehensive characterization of detection properties since the number and timing of cases added to the baseline is perfectly known (Siegrist and Pavlin, 2004).

The objective of our study was to evaluate the performances of a method that we designed for detecting abnormal increases in the cattle baseline mortality in France. The method that we evaluated was a combination of temporal regression and spatial cluster detection which allows identifying, for a given week, clusters of spatial units showing an excess of deaths in compare to their own historical fluctuations. The ability of this approach to detect abnormal increases of mortality caused by infectious outbreaks was evaluated through a simulation study.

First, we simulated 100 outbreaks causing extra deaths according to a model mimicking the spreading patterns of an infectious disease and injected these disease-related extra deaths in an authentic mortality dataset. Second, we applied our algorithm on each of the 100 semi-synthetic dataset obtained by simulation to identify clusters of spatial units showing an excess of deaths considering their own historical fluctuations. Third we verified if the clusters identified by the algorithm did contain simulated extra deaths in order to evaluate the ability of the algorithm in identifying unusual mortality clusters caused by an outbreak. Finally we discussed the results and the relevance of the evaluation approach, and the next steps to achieve the implementation of an automated cattle mortality surveillance system.

Material and methods

Data were administrated with Toad for MySQLTM (Quest software Inc, 2011), analyzed with RTM (R Development Core Team, 2011) and scan statistics were computed with SatSCANTM software (Kulldorf, 2009). The study was based on the cattle identification data and movement notifications recorded in the French NCR from 2005 to 2010. We kept data from mainland France only and excluded French overseas territories.

Creating the baseline dataset

First, we used data extracted from the NCR to compute the weekly number of cattle deaths and number of animals-days alive by herd using the algorithm described in (Perrin et al., 2010). Then, we divided mainland France in 1,125 regular hexagons of 25 km diameter using the R packages Hexbin (Carr et al., 2011). Each farm (about 220,000) was attributed to the hexagon that contained the centroid of its zip code. Finally the number of deaths and number of animal-days alive were aggregated by week and hexagon.

As a result, for each of the 1,125 hexagons, we obtained a time series of weekly mortality rate from 2005-01-01 to 2010-02-01 (Figure 60). The period before 2008-11-03 (196 weeks) was kept as “calibration period” for the temporal anomaly detection methods whereas the 65-week period from 2008-11-03 to 2010-02-01 was used as “test period”, during which we injected simulated increases of mortality and applied our algorithm to detect them.

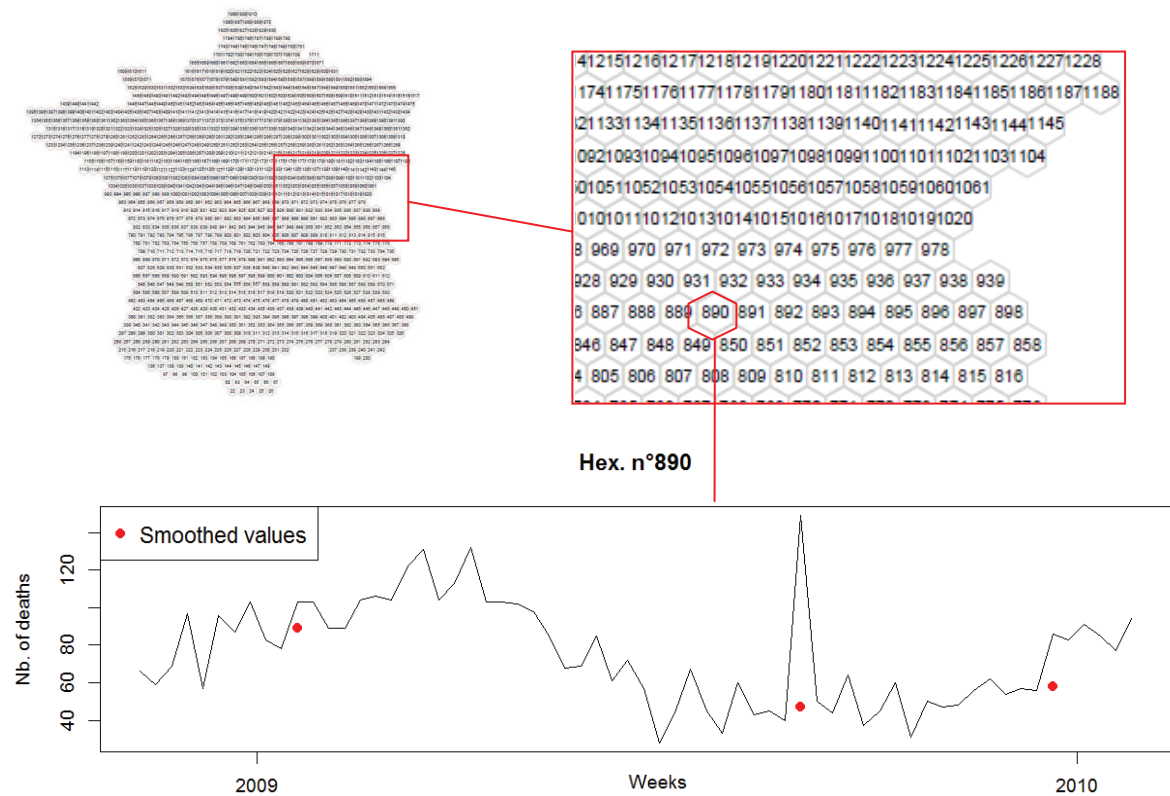


Figure 60: Aggregation of cattle mortality data in regular hexagonal grid across France (top) and weekly time series from 2008-11-03 to 2010-02-01 (bottom). The black line in the time series represents observed weekly counts of on-farm deaths for the 65-week test period in hexagon n° 890. The red points represent the three values that were smoothed in this time series after correcting for atypical observations.

The 65-week trial dataset contained atypical observations whose nature (i.e. real increases mortality caused by a health event or artifacts) was unknown. To correct these atypical observations from the baseline dataset we applied to each time series an automated method proposed by (Fried, 2004), based on a robust regression functional for local approximation of a linear trend in a moving time window. The level and the slope in the centre of the moving time window were approximated using repeated median as high breakdown point method. Rousseeuw and Croux scale estimator was applied to the residuals to approximate the variability in the window (Fried, 2004). Counts that exceeded the level plus three times the scale were considered as outliers and replaced by the current level estimate (Figure 60).

Method used to identify clusters of hexagons presenting excess deaths in comparison to their own historical fluctuations

The method to identify abnormal increase of mortality was conducted in two steps.

Poisson regression models

In each hexagon, we fitted a Poisson model on the calibration period (before 2008-11-03) and used it to predict the weekly number of deaths during the test period (2008-11-03 – 2010-02-01).

To reduce the effect of past aberrations in the calibration period, we performed a second round of estimation of the model, weighting the observed values by the inverse of their residuals, according to the procedure proposed in (Farrington et al., 1996). Reweighting was conducted using the R “surveillance” package (Hohle et al., 2009). Models took into account a month effect and a trend, which was systematically removed when not significant (p-value < 5%). An overdispersion parameter was added when the overdispersion of the errors of the Poisson models were tested significant, using the R `poisgof()` function (Virasakdi, 2012).

Finally, we used the models to predict the number of deaths by week and hexagon during the test period under the hypothesis of the absence of any particular health event.

Spatial scan statistics

Spatial clusters of hexagons showing excess mortality in compare to their own historical fluctuations were tracked each week of the test period (2008-11-03 to 2010-02-01) using scan statistics computed with the SatScan™ software (Kulldorf, 2009). The scan statistics was based on a Poisson model which requires information on the number of cases and the size of the population in each location. With this model, raw population numbers can be replaced by covariate adjusted for the expected number of cases estimated by standard statistical regression (Kulldorff et al., 1997).

For our algorithm, the number of cases, referred to below as “observed number of deaths”, corresponded to the number of real deaths plus the number of simulated deaths (if any). Population numbers were replaced by the “expected number of deaths”, i.e. the number of deaths predicted by the models adjusted for each hexagon described previously.

The maximum cluster size was set to 20% of the cattle population under surveillance. Only most likely clusters were taken into account. For each week of the test period, the scan statistics analysis gave: the list of the hexagons included in the cluster identified, the probability that the cluster result from a random distribution of cases (p-value), and the relative risk of mortality inside the cluster in comparison to outside (RR).

Simulating and injecting disease-related deaths in the baseline dataset

Each simulation began with a random sampling of a farm among the French farms and a date between 2008-11-03 and 2009-11-04. Extra deaths were simulated according to a scenario of an infectious disease which spreads rapidly in the cattle population and causes moderate mortality in infected herds. The spread of the outbreak was then simulated during a maximum of 12 weeks according to a model taking into account both within-herd and between herd dissemination of the disease (Rautureau et al., 2012). The details of this model and the values of its parameters are given in Annex I.

Within-herd dissemination was modelled using a SIR model, which gave the number of Susceptible, Infected, Recovered and dead animals by day after the disease was introduced in a herd. We considered a disease with a reproduction ratio R_0 of 5, a recovery duration of 7

days and daily mortality rates of 0.03. NCR data were used to determine the number of susceptible animals in herds during the 12 weeks of the simulation.

Between-herd dissemination was modelled by taking into account both spatial location of herds and the exchanges of live cattle between herds. Since geographic coordinates of French herds were unknown, they were drawn at random inside their zip code (once for all the simulations). The probability that an infected herd infects a susceptible neighbouring herd was defined by the transmission kernel, which determines the probability of pathogen transmission from infected to uninfected farms as a function of interfarm distance (see Annex I). Probability that an infected herd transmits the disease through the selling of an animal was defined by the disease prevalence in the origin herd at that time and a biosecurity parameter. Movement notifications recorded in the NCR were used to identify the date and destination herd of cattle sold by infected herds during the simulation period.

Parameters were set to represent a disease which disseminates rapidly in the population but causes a moderate increase in mortality and a rapid recovery.

As a result, each simulation gave for the 12 weeks following the introduction of the disease: the identification number of the infected herds and their date of infection, and the number of extra deaths caused by the disease by date and infected herd. Weeks during which at least one simulated death was injected were defined as “Outbreak weeks”.

100 outbreaks were simulated. For each of them, the simulated deaths were aggregated by hexagon and week and injected in the baseline dataset described previously. We obtained in this manner 100 semi-synthetic datasets containing an abnormal increase of deaths caused by a simulated outbreak. Features of these outbreaks were summarized with the median, 10th and 90th quantiles of the number of deaths simulated, infected herds and hexagons, and outbreak duration.

Performances evaluation

To evaluate the performances of the algorithm in detecting the abnormal increase of mortality caused by an outbreak, we applied the algorithm on each of the 100 semi-synthetic datasets and verified for each of the 100 trials if the hexagons clustered by our algorithm were those that contained the simulated extra deaths that had been injected.

Alarm definition

For each week of the test period, the cluster analysis led either to a true alarm, a false alarm or no alarm. A true alarm was defined as the identification of a cluster containing at least one hexagon with one or more simulated death, referred to below as “infected hexagons”. A false alarm was defined as the identification of a cluster containing no hexagon with simulated deaths. There was no alarm when the algorithm did not identify a cluster of hexagons.

Calibrating the algorithm to reach a given specificity

We only considered clusters which p-value was under a predefined maximal threshold (α) and which relative risk was above a predefined minimal threshold (RR_c). Values of α and RR_c were set so as to constrain the alarm rate to remain under 4 alarms per semester, which we considered as a sustainable threshold for a veterinary health service. To do so, the anomaly detection algorithm was run on the baseline dataset without injecting any extra deaths and parameters were empirically set to reach the desired alarm rate.

Indicators estimated from each trial

From each of the 100 trials, we recorded the p-value, relative risk and locations included in the clusters identified on each week of the test period.

We calculated eight performance indicators at the end of each trial, defined in Table 3. Specificity was not evaluated since it was constrained by the design of the study. For sensitivity, positive and negative predictive values, two types of indicators were computed. The first, type (a), was based on the number of true/false alarms produced over the 65 weeks of the test period. The second, type (b), was based on the number of hexagons-weeks included/not included in clusters during the test period.

Table 3 : Performances indicators stored from each run

Indicator		Definition
Success	Succ	Succes equal 1 if there is at least one true alarm during the trial, 0 otherwise
Timeliness	Time	Number of weeks elapsed between the first simulated death and the first true alarm
Sensitivity _a	Se _a	Proportion of weeks with a true alarm among the outbreak weeks
Positive predictive value _a	PPV _a	Proportion of true alarms among the alarms
Negative predictive value _a	NPV _a	Proportion of weeks with no simulated death among the weeks without alarm
Sensitivity _b	Se _b	Proportion of hexagons-weeks included in a cluster among hexagons-weeks infected
Positive predictive value _b	PPV _b	Proportion of hexagons-weeks infected among all the hexagons-weeks included in a cluster
Negative predictive value _b	NPV _b	Proportion of hexagons-weeks not infected among the hexagons-weeks not included in a cluster

The second type of estimates (b) was proposed to complement the evaluation and to know not only if an outbreak is detected but also to estimate which proportion of infected locations was actually detected.

Indicators summarizing performances over the 100 trials

We estimated the global proportion of success (i.e. at least one true alarm during the trial) among all trials and the cumulative proportion of successes, calculated as the proportion of success per week after the introduction of the disease. The distribution of each other performance indicator (Table 3) was computed (mean, median, 10th and 90th quantiles) over all trials, and for three groups of outbreaks classified according to the number of deaths simulated ([0-100],]100-10,000],]10,000-∞[).

Results**Creating the baseline dataset**

As a result of the filtering, 5.2% of the weekly-hexagonal counts in the initial dataset (3,792 from 73,120) were considered as outliers and trimmed, which resulted in the removal of 21,802 deaths from the 1,686,387 deaths observed in the real dataset corresponding to the test period (1.3%).

Simulating and injecting disease-related deaths in the baseline dataset

The median duration of outbreaks among the 100 simulations was 8 weeks (91% of the simulated outbreaks ended within the 12 weeks period of the outbreak simulation). The median number of simulated deaths was 4,678 and the median number of infected herds was 408. Summarized results of outbreak simulation are presented in Table 4.

Table 4 : Median and [10%-90%] fluctuation interval for 8 indicators: duration of the outbreak in weeks, number and proportion* of simulated deaths, number and proportion* of infected herds, and number and proportion* of infected hexagons

	Duration (weeks)	No. of simulated deaths	Prop. of simulated deaths* (%)	No. of infected herds	Prop. of infected herds* (%)	No. of infected hexagons	Prop. of infected hexagons* (%)
Q10	4	43.9	<0.001	2	<0.001	1	0.1
Q50	8	4,678	1.75	408	0.19	22	1.95
Q90	12	15,975	9.1	1538	0.72	67.3	6.02

* Proportion of simulated deaths, infected herds and hexagons were respectively calculated towards the total number of deaths that occurred during the course of the outbreak, and the total number of herds and hexagons under surveillance over this period.

Median and [10%-90%] fluctuation interval of the weekly average number of simulated deaths among infected herds was 1.5 [1-44.6]. The median number of simulated deaths per outbreak showed a peak (111 simulated deaths) on the 4th week after introduction of the disease (Figure 61). Feature of the outbreaks varied dramatically between simulations: the 75th quantile of the number of simulated deaths reached 902 on week 4 and peaked on week 6 with 1,893 deaths whereas the 25th quantile was 3 on week 4 and 0 on week 6. Median number of infected herds and hexagons peaked on the 4th and 5th week after introduction of the disease, respectively.

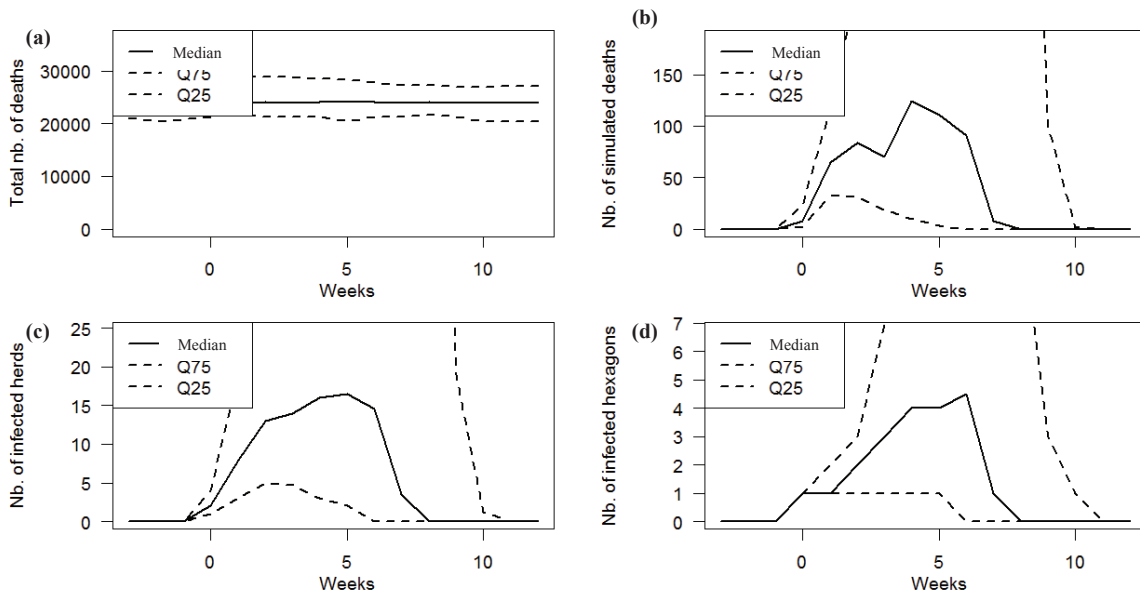


Figure 61 : Median (and 0.25-0.75 quartile) of the number of total (observed + simulated) deaths (a), of simulated deaths (b), of infected herds (c) and of infected hexagons (d) by week over the 12 weeks following the start of the simulation, among the 100 simulations.

The total number of simulated deaths and the number of infected herds and hexagons issued from the 100 simulations showed a bimodal distribution. 60% of the simulations ended either in less than 100 or more than 15,000 simulated deaths (Figure 62). Among simulations, number of infected herds peaked at [1-100] and [1,400-1,500], and number of infected

hexagons peaked at [1-5] and [50-55]. The duration of the outbreak was less variable among simulations with 70% of simulations lasting between 4 and 9 weeks.

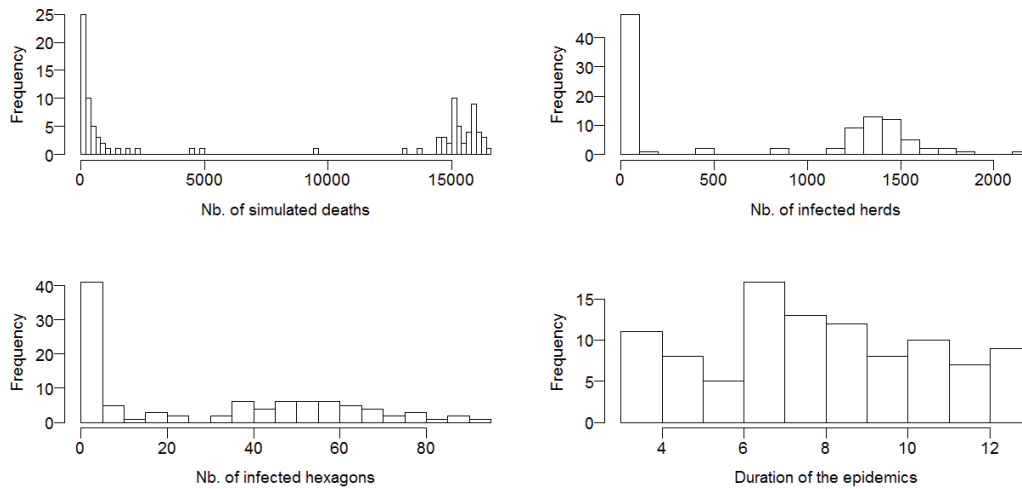


Figure 62 : Distribution of the total number of simulated deaths (a), the number of infected herds (b) and hexagons (c), and duration of the outbreak (d) among the 100 simulations.

Evaluating the performances

Calibrating the algorithm to reach a given specificity

To ensure a sufficient specificity, only clusters with p-value under 0.001 and relative risk higher than 1.25 were considered. With these constraints, the method identified 9 clusters in the 65-week smoothed baseline dataset free from injected signals. Thus the proportion of weeks without alarm was 86.5%, what corresponded to a biannual alarm rate of 3.6. Globally 235 hexagons-weeks out of 73,120 hexagons-weeks under surveillance (0.3%) were included in a cluster.

Indicators estimated

The global success rate was 75%. There was a very steep increase of success on the first week following the introduction of the disease (week 1). Success proportion increased from 4.1% to 39% between week 0 (the week during which the disease was introduced) and week 1 (the following week). On following weeks, the increase was slighter (Figure 63).

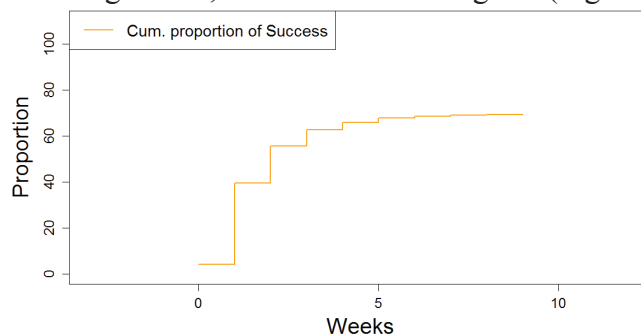


Figure 63: Cumulative proportion of success (i.e. identification of a cluster containing at least one hexagon with one or more simulated death) by week after the introduction of the disease.

The median timeliness for detection among successful simulations was 1 week, with a mean of 1.5 weeks (Table 5). Mean Se_a and PPV_a among the simulations were respectively 51.1% and 32.1%, i.e. approximately half of the outbreak weeks were flagged by a true alarm

whereas one in three alarms was a true alarm. Mean Se_b was 13.1%, i.e. 13.1% of the infected hexagons-weeks were included in a cluster. The mean NPV_a was equal to 94.5%, i.e. 94.5% of the weeks without alarm were not outbreak weeks.

Table 5: Distribution of the 6 performances indicators among the 100 simulations

INDIC	Time	Se_a	Se_b	PVP_a	NPV_a	NPV_b
Q10	1	0	0	0	88.7	99.8
MEDIAN	1	66.7	13.1	38.75	95.7	99.9
Q90	3	90	25.1	57.2	100	100
MEAN	1.5	51.1	13.3	32.1	94.5	99.9

The performance of the indicators varied among the simulations (Figure 64). For most indicators distribution was rather multimodal than unimodal.

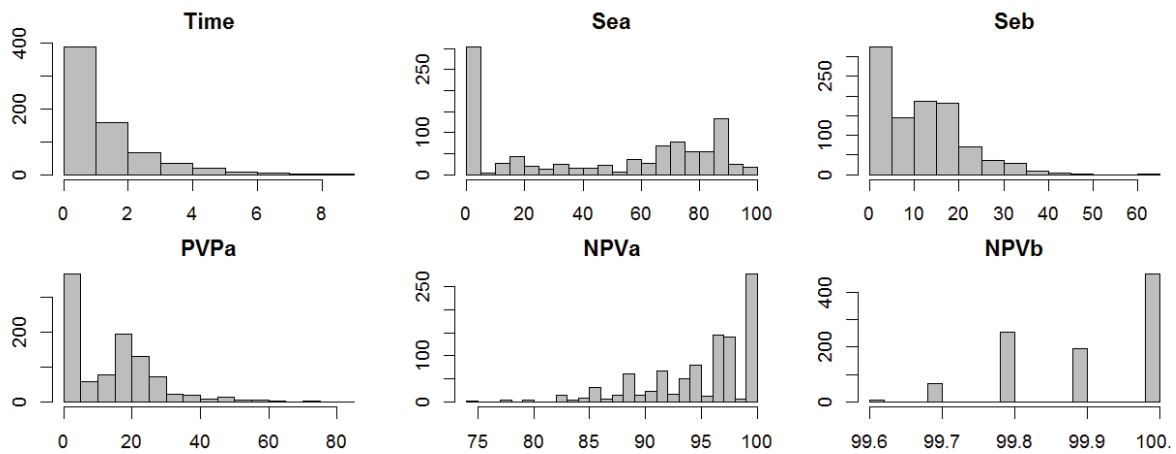


Figure 64: Distribution of the 6 performances indicators for method I among the 100 simulations.

Among the 75% simulations ending with a success, the median number of simulated deaths at the first alarm was 129 and the median number of infected herds was 13 (Table 6). The median average number of simulated deaths in infected herds at the week of the first alarm was 4.1 (Q10=2.4, Q90=7.3).

Table 6: Median size of the outbreak at the first alarm.

	No. of simulated deaths	Prop. of simulated deaths* (%)	No. of infected herds	Prop. of infected herds* (%)	No. of infected hexagons	Prop. of infected hexagons* (%)
Q10	69	0.1	6.4	<0.001	1	0.1
MEDI AN	129	0.2	13	<0.001	2	0.2
Q90	333.4	0.5	36	<0.001	4	0.4

* Proportion of simulated deaths was calculated regarding the total number of deaths that occurred during the course of the outbreak.

** Proportion of infected herds and hexagons were calculated regarding the total number of herds and hexagons under surveillance during the course of the outbreak.

Effect of the outbreak size

Size of the outbreak affected greatly the performances of detection. Among the 25% outbreaks that were not detected by the algorithm, the median overall number of simulated

deaths at the end of the simulation was 46 and the median number of infected herds was 2. The algorithm detected none of the outbreaks causing less than 100 deaths whereas it detected all outbreaks causing more than 10,000 deaths (Table 7). Our algorithm detected 84.4% of the outbreaks with a size ranging from 101 to 10,000 deaths.

Table 7: Number of simulations, proportion of success, and mean of the 6 indicators according to the size of simulated outbreaks.

	Nb sim.	Succ (%)	Timeliness (weeks)	Se _a	Se _b	PVP _a	NPV _a	NPV _b
Small	20	0	NA	0	0	0	100	0.149
Medium	32	84.4	0.6	0	0	0	99.9	0.132
Large	48	100	1	8.81	71.4	40	99.7	0.092

Small : ≤ 100 simulated deaths, Medium : 101-10,000 simulated deaths, Large : $> 10,000$ simulated deaths

Discussion

The purpose of our study was to evaluate performances of an algorithm developed for detecting abnormal increases of deaths in the frame of an automated surveillance system of cattle mortality in France.

Results of the performances evaluation

We observed a proportion of success of 75% among the simulations. As expected, the detection performances varied greatly according to the size of the simulated outbreaks. We found a proportion of successes of 84.4% when we considered only outbreaks causing more than 100 deaths. However, our approach was hardly able to identify outbreaks causing less than 100 deaths. We examined the effect of outbreak size with a stratified computing of the performance indicators among the different groups of outbreaks.

The proportion of successes among the simulations is not very informative by itself: in our study, half of the simulations caused a number of disease-related deaths that could not be overlooked (15,000 extra deaths correspond to an increase of 5% of the national average weekly death number during 12 weeks). The cumulative proportion of successes is more informative and confirmed that the sensitivity of the system was satisfying: cumulative proportion of successes was 52 and 69% on week 1 and 4 respectively, when the median number of simulated deaths was respectively 106 and 711 on these weeks.

The mean estimate of Se_a showed that almost half of the outbreak weeks were flagged with a true alarm whereas the value of Se_b showed that on average only 13% of the infected hexagons-weeks were clustered. These results suggest that once a cluster is identified, the number of locations infected will actually often be greater than the number of locations included in the cluster. This low value of Se_b could be related to the maximal size of clusters (20% of the population) we set for the scan statistics but this limitation was necessary to make the results of cluster detection useful for policy makers. The low value of Se_b should also be linked to the very strict definition of cases we applied: from one single simulated deaths, hexagons were considered as cases (infected hexagons). Thus many infected hexagons not included in a cluster may actually contain very few extra deaths. In addition, our algorithm was designed to detect atypical mortality signals in neighboring hexagons only, although the disease was simulated to spread also to distant locations through the commercial network of farms. As a consequence, some signals appeared simultaneously in distant locations, what our algorithm was not designed to detect.

The global timeliness for outbreak detection, that corresponded in our study to the delay between the onset of a signal (increased mortality in cattle herd) and the generation of an

automated alert, was satisfactory: the mean detection time was 1.5 weeks among success for a relatively small size of outbreak at first alarm (mean of 129 simulated deaths and 13 infected herds). These results suggest that the algorithm could identify an increase in mortality at a stage early enough to allow policy makers to order investigations and organize response, with the limit that other factors affecting the global timeliness of the system (such as the time between the exposure and the first excess deaths, the data collection timeliness, the frequency at which the algorithm is run, etc.) are adequate.

Beside timeliness and sensitivity, specificity is the third main descriptor for outbreak detection performances. Specificity of a detection algorithm can be evaluated on baseline data without injecting any signals (Groenewold, 2007), with the condition that the baseline did not contain any signals from true outbreaks. This assumption was not applicable to the authentic dataset available for this study, because we did not have information to distinguish real health events from artifacts. We decided to systematically remove outliers from our baseline data and thus could not properly evaluate the specificity of our algorithm. Filtering the baseline was also needed to evaluate the performances regarding sensitivity and timeliness, which could have been affected by the presence of authentic signals in the baseline. Using a smoothed authentic baseline allowed us to test the algorithms in conditions closer to reality than with a fully synthetic baseline. Indeed the smoothed dataset remained close to the initial dataset since the filtering method removed less than 1.3% of the death counts. Theoretically the smoothing did not affect main features of the cattle mortality baseline observed in France: important seasonality which varies among regions, long term variations from one year to another, spatial heterogeneity...

Design of the detection algorithm

We did not directly applied the space-time scan statistics using crude weekly death counts and population estimates, because it would have led to flag clusters of increased mortality rates actually due to the local seasonality of mortality baseline (Perrin et al., 2011). We addressed this issue, by using adjusted expected counts in line with the approach described in (Kulldorff et al., 1997), with the exception that our predictor variable was the time as in (Nordin et al., 2005). Fitting a Poisson model in each hexagon allowed us to adjust expected death counts on local trend and seasonality of mortality rates.

We fitted Poisson models in each hexagon as independent units. We did not adjust for the spatial auto-correlation since we were interested in detecting clusters due to such correlation. Considering the number of models fitted, we could not check their validity individually. We assumed that Poisson model with a monthly effect and population as offset fitted adequately to the data of each hexagon.

Method applied for evaluating the performances

Using authentic outbreak data for evaluating detection performances is interesting because it demonstrates straightforward the efficiency (or lack of) of a system for a particular event. However it is difficult to consistently or comprehensively identify all outbreaks that occurred during a period of interest (Watkins et al., 2006). The occurrence and exact timing of true outbreaks in historical data often remain unknown. This was the case for the French 2008-2009 Bluetongue epidemics, on which we initially considered to perform our evaluation since we had available a national database with the date and herd number of each official outbreak notification. However we suspected an under-diagnosis of infected herds and animals, particularly at the beginning of the epidemic when farmers and veterinarians were not familiar with the disease, due to its often non-specific clinical signs in cattle (Perrin et al., 2010). As a consequence, our confidence in location and date of outbreaks was not high enough to

consider the official outbreak notifications as gold standard for the occurrence of true outbreaks.

Thus we evaluated the performances of algorithm by simulation, superimposing simulated outbreaks on historical trend data, as it has already been used for syndromic surveillance (Nordin et al., 2005; Buckeridge et al., 2006). Outbreaks can be simulated through simple methods (mathematical function such as a step-function or an exponential distribution) or more complex models (Buckeridge, 2007). To approach realistic conditions and cover a larger range of outbreak types, we did not directly control the outbreaks' magnitude, duration, spacing, and temporal progression, but simulated the outbreaks through an epidemic model which took into account disease-related factors and the dynamic French cattle farm network. As a result, signals were stochastic in space and time, reflecting the variability of real infectious disease dissemination in a cattle farm network. Evaluating performances on numerous and various signals was particularly important since the algorithm evaluated was designed in the frame of an unspecific surveillance system and thus needed to assess the ability of the system to detect a broad range of possible signals.

Perspectives

Another initiative from human health conducted on coroner-based mortality surveillance did not lead to satisfying results (Groenewold, 2007) because of the lack of sensitivity and limited outbreak detection reliability of the methods studied. In contrast, our findings suggest that an adequate analysis of mortality data could provide satisfactory detection performances to be helpful for surveillance of the cattle population within the condition that an appropriate balance between sensitivity and specificity is found.

We applied our algorithm on the whole French territory, i.e. 1,165 hexagons, but the same approach could have been applied separately to restricted areas, such as regions or departments (France is divided into 22 regions and 96 departments). Performing the detection algorithm on a restricted number of hexagons may have better performances even if the analyse might be less powerful. Moreover, performing anomaly detection at this scale would be meaningful since each French region and department is managed by local veterinary services. Should these services be the recipient of alarms, they could more efficiently interpret the signals and carry out the investigations when needed than a national service.

Our approach does not allow the identification of a particular herd or group of herds, but flag clusters of 25km-diameter hexagons with abnormal mortality increases. Hexagons have no administrative reality what makes the intervention of public forces difficult to organize practically and legally. It would be interesting to apply a similar approach at a smaller spatial scale, with the condition that individual counts remain sufficient for fitting regression models. Indeed the more precise the alarm, the easiest and fastest the response but also the lowest the power of the analysis. To overcome this issue, a second step of analysis completing the presented approach could also be considered in order to identify herds with the most important excess deaths within the locations clustered.

Syndromic systems do not target a particular disease but a broad range of health events. Thus the shape, moment and magnitude of the signals that such systems should be able to flag are unknown and can range widely. The approach we applied targeted single anomalies (peaks) but a more comprehensive approach would flag other type of anomalies, such as subsequent small increases of mortality (characteristic of chronic disease) which would not be individually significant, i.e. in our case above the upper prediction limit. However additional temporal method, e.g. based on a cumulative sum analysis of the residuals of the models did

not improve detection success (results not shown). Further studies are needed to identify methods able to identify a broader range of signals.

While attaining sufficient timeliness and sensitivity with the evaluated tool seems a reachable purpose, ensuring a sustainable false alarm rate is more difficult. We cannot conclude on the specificity of the systems since we do not know which proportion of the atypical observations we removed from the initial dataset were artefacts and how many corresponded to real health events. Most outliers removed corresponded to the occurrence of a high number of deaths in hexagons where there were historically no or very few deaths (e.g. 140 deaths occurring in the hexagon 840 on week 2009-10-01 when 45 were expected). Many of them were probably related to a real event, but not necessarily with epidemiological interest, as for example the culling of an entire herd, an animal transporter crash or a fire on a farm. In the frame of an operational system, if the user does not want to yield alarms for such events, then it could be necessary to treat this kind of death notifications differently, for example by changing the notification system or filtering it automatically. It would also be possible to adjust the mortality rate predictions on other factors that may not be of interest for the users. For example using bio climatic factors in the predictions model would allow no detection of mortality increases due to an unusual heat wave or cold snap (Stull et al., 2008; Crescio et al., 2010).

Conclusion

Our study suggested that the proposed approach combining temporal regression and cluster detection applied to the data from the NCR could help identifying automatically unusual excess deaths occurring in the French cattle population. Results of the simulation study are encouraging, but the real performances of such a system for detecting outbreaks still need to be confirmed. We suggest testing the efficiency of the approach by prospectively evaluating an operational pilot system which performances would be routinely investigated and recorded (number of real outbreaks detected, false alarms, and outbreaks missed or detected late). Such an approach would moreover answer the question whether (and in which cases) abnormal mortality increases can be timelier signals than the traditional notification of unusual clinical situations from field professionals, farmers or veterinarians.

The proposed automated surveillance system is not meant to replace the tight network of veterinarians directly in contact with the field which constitutes the core of every animal health surveillance system. It should rather be used as an adjuvant in conjunction with other surveillance activities. Accordingly, we believe that our detection tool could in some cases increase the probability of detecting unusual health events and facilitate the rapid implementation of adapted control and prophylaxis measures by animal health services.

Bibliography

- Buckeridge, D.L., 2007. Outbreak detection through automated surveillance: a review of the determinants of detection. *J Biomed Inform* 40, 370-379.
- Buckeridge, D.L., Owens, D.K., Switzer, P., Frank, J., Musen, M.A., 2006. Evaluating detection of an inhalational anthrax outbreak. *Emerg Infect Dis* 12, 1942-1949.
- Buehler, J.W., Hopkins, R.S., Overhage, J.M., Sosin, D.M., Tong, V., 2004. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks: recommendations from the CDC Working Group. *MMWR. Recommendations and reports : Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports / Centers for Disease Control* 53, 1-11.
- Carr, D., Lewin-Koh, N., Maechler, M., 2011. hexbin: Hexagonal Binning Routines. R package version 1.26.0.
- Crescio, M.I., Forastiere, F., Maurella, C., Ingravalle, F., Ru, G., 2010. Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Prev Vet Med* 97, 191-197.
- Farrington, C.P., Andrews, N.J., 2004. Statistical aspects of detecting infectious disease outbreaks. In: Brookmeyer, R.S., D. (Ed.), *Monitoring the Health of Populations: Statistical Principles and Methods*. Oxford University Press, 36.
- Farrington, C.P., Andrews, N.J., Beale, A.D., Catchpole, M.A., 1996. A statistical Algorithm for the Early Detection of outbreaks of infectious disease. *J Roy Stat Soc* 159, 547-563.
- Fried, R., 2004. Robust filtering of time series with trends. *Nonparametric Statistics* 16, 313-328.
- Gergonne, B., 2010. EuroMomo Work Package 7 report : A European algorithm for a common monitoring of mortality across Europe. European commission, 42.
- Groenewold, M.R., 2007. Comparison of two signal detection methods in a coroner-based system for near real-time mortality surveillance. *Public Health Rep* 122, 521-530.
- Hohle, M., Paul, M., Held, L., 2009. Statistical approaches to the monitoring and surveillance of infectious diseases for veterinary public health. *Prev Vet Med* 91, 2-10.
- Kanieff, M., Rago, G., Minelli, G., Lamagni, T., Sadicova, O., Selb, J., Vantarakis, A., Conti, S., 2010. The potential for a concerted system for the rapid monitoring of excess mortality throughout Europe. *Euro Surveill* 15.
- Kulldorf, M., 2009. SaTScan v8.0. Software for the spatial and space time scan statistics <http://www.satscan.org>.
- Kulldorff, M., Feuer, E.J., Miller, B.A., Freedman, L.S., 1997. Breast cancer clusters in the northeast United States: a geographic analysis. *American journal of epidemiology* 146, 161-170.
- Mandl, K.D., Overhage, J.M., Wagner, M.M., Lober, W.B., Sebastiani, P., Mostashari, F., Pavlin, J.A., Gesteland, P.H., Treadwell, T., Koski, E., Hutwagner, L., Buckeridge, D.L., Aller, R.D., Grannis, S., 2004. Implementing syndromic surveillance: a practical guide informed by the early experience. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 11, 141-150.

- Nordin, J.D., Goodman, M.J., Kulldorff, M., Ritzwoller, D.P., Abrams, A.M., Kleinman, K., Levitt, M.J., Donahue, J., Platt, R., 2005. Simulated anthrax attacks and syndromic surveillance. *Emerg Infect Dis* 11, 1394-1398.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Hendrikx, P., Calavas, D., 2011. Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009. *INRA Prod. Anim.* 24, 235-244.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Calavas, D., Hendrikx, P., 2012. Assessment of the utility of routinely collected cattle census and disposal data for syndromic surveillance. *Prev Vet Med*, In Press.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Gauffier, A., Calavas, D., Hendrikx, P., 2010. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics* 2, 207-214.
- Quest software Inc, 2011. Toad for MySQL 6.0.1.1723.
- R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. Version 2.14.1 (2011-12-22). R foundation for Statistical Computing, . Vienna, Austria.
- Rautureau, S., Dufour, B., Durand, B., 2012. Structuring the passive surveillance network improves epizootic detection and control efficacy: a simulation study on foot-and-mouth disease in France. *Transboundary and emerging diseases* 59, 311-322.
- Siegrist, D., Pavlin, J.A., 2004. Bio-ALIRT Biosurveillance Detection Algorithm Evaluation. *MMWR. Recommendations and reports : Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports / Centers for Disease Control* 53, 152-158.
- Stull, C.L., Messam, L.L.M.V., Collar, C.A., Peterson, N.G., Castillo, A.R., Reed, B.A., Andersen, K.L., VerBoort, W.R., 2008. Precipitation and temperature effects on mortality and lactation parameters of dairy cattle in California. *J Dairy Sci* 91, 4579-4591.
- Virasakdi, C., 2012. epicalc: Epidemiological calculator. R package version 2.14.1.6.
- Watkins, R.E., Eagleson, S., Hall, R.G., Dailey, L., Plant, A.J., 2006. Approaches to the evaluation of outbreak detection methods. *BMC public health* 6, 263.

Annex I : Details of the SIR model (Rautureau et al., 2012)

S_i, I_i, R_i the number of animals in the herd i in the susceptible S , infected I and recovered R states, respectively.

$1 / \alpha$ the duration of the infectious period (7 days)

μ the daily mortality rate of infected animals (0.03)

β the within-herd transmission parameter (0.86)

ϕ the biosecurity parameter influencing the between-herd transmission (0.75)

Probability of getting infected for an animal in the state S on the herd i :

$$p_{inf} = 1 - e^{-[\beta \frac{I_i}{N_i} + (1-\phi) \sum_{j \in V_i} \beta \frac{I_j}{N_j}]}$$

where V_i is the neighbors of the herd i in the network of direct contact, defined by the function:

$I_{j \in V_i} \sim Bern(e^{-K d(i,j)})$ where $Bern(p)$ is the Bernouilli distribution of parameters p , $d(i,j)$ is the Euclidian distance between herds i and j , and K is the parameter for the transmission kernel ($K=0.002$)

Probability of dying for an animal in the state I in the herd i :

$$p_{mort} = [1 - (1 - \alpha)(1 - \mu)] \frac{\mu}{\mu + \alpha}$$

Probability of getting immunized for an animal in the state I in the herd i :

$$p_{immun} = [1 - (1 - \alpha)(1 - \mu)] \frac{\alpha}{\mu + \alpha}$$

Daily dynamics : $n_{i,S-I}, n_{i,I-M}, n_{i,I-R}$ are the number of animals in the state I that get infected, die, and get immunized during a day:

$$n_{i,S-I} \sim Bin(S_i, p_{inf})$$

$$n_{i,I-M} \sim Bin(I_i, p_{mort})$$

$$n_{i,I-R} \sim Bin(I_i, p_{immun})$$

where $Bin(n, p)$ is a binomial law of parameters n and p

Commercial transfers of animals between herds are simulated mechanically at each time point by random sampling of the state of the animals that are moved from a herd to another.

3.6 Bilan des études sur la détection précoce et perspectives

Les travaux que nous avons menés pour évaluer la possibilité de détecter des menaces sanitaires par le suivi des données de mortalité bovine ont mis en évidence la difficulté d'établir une stratégie d'analyse pertinente, malgré la disponibilité des données et des outils pour les analyser.

Nous avons proposé une stratégie, applicable à l'échelle nationale et visant à identifier des regroupements d'unités géographiques de présentant des excès de mortalité, et évaluer ses performances. Les résultats de l'évaluation suggèrent que cette approche pourrait avoir une sensibilité et une précocité suffisantes pour détecter des foyers d'une maladie infectieuse se propageant rapidement dans le cheptel bovin et causant une mortalité modérée dans les élevages touchés. Notre évaluation, basée sur une étude par simulation, pourrait toutefois être poursuivie par des travaux complémentaires.

3.6.1 Evaluation de la même méthode avec d'autres signaux

Nous avons évalué la sensibilité et la précocité de notre approche vis-à-vis d'une maladie se propageant rapidement et causant une mortalité modérée dans les élevages infectés. Il serait intéressant d'évaluer les performances du même outil vis-à-vis d'autres scénarii, en faisant varier les valeurs des différents paramètres du modèle épizootique, notamment la rapidité de diffusion de la maladie et le taux de mortalité associé, voire en adoptant un modèle simulant d'autres types de signaux (contamination à partir d'une source commune, diffusion vectorielle d'une maladie, etc.).

3.6.2 Evaluation de la même méthode appliquée à des zones limitées

Dans la stratégie de détection que nous avons évaluée, l'analyse était conduite à l'échelle nationale. Une approche similaire (recherche d'hexagones en excès de mortalité par rapport à leur historique) pourrait aussi être appliquée séparément à des zones plus réduites, comme par exemple les départements. Appliquer la méthode que nous avons conçue à cette échelle pourrait améliorer les performances de détection, en permettant l'identification de plus petits foyers, probablement en contrepartie d'une perte de puissance. De plus les résultats seraient plus pertinents et plus facilement interprétables et exploitables à cette échelle, puisque les services vétérinaires départementaux pourraient en être destinataires.

3.6.3 Evaluation de méthodes alternatives

En parallèle de la méthode présentée dans l'article, nous avons envisagé différentes variations de l'approche employée, toutes basées sur une modélisation temporelle de la mortalité dans chaque unité géographique suivie d'une recherche d'agrégats d'unités géographiques en excès de mortalité.

Nous avons notamment tenté de concevoir des méthodes permettant d'identifier des agrégats d'unités géographiques ayant présenté une succession de faibles excès de mortalité (Tableau 32), contrairement à la méthode appliquée qui ne permettait d'identifier que des groupements d'excès ponctuels et importants. Pour ce faire, nous avons conduit la recherche d'agrégats non pas directement sur les prédictions des modèles de Poisson mais sur la somme cumulative de leurs résidus : pour chaque semaine, les agrégats d'hexagones

présentant une valeur de somme cumulative élevée étaient recherchés par une analyse des statistiques de scan basée sur un modèle Normal. Dans un objectif similaire, nous avons appliqué la méthode des limites historiques pour estimer le nombre de morts observées et attendues dans chaque hexagone, cumulés sur les quatre dernières semaines, avant de rechercher les agrégats d’excès à partir d’une analyse des statistiques de scan basée sur un modèle de Poisson.

Ces deux approches alternatives, comme celle que nous avons adoptée, se basent sur le nombre de morts prédit par les modèles mais ne prennent pas en compte la confiance associée à cette prédiction. Nous avons donc évalué des méthodes visant à identifier les agrégats d’hexagones dépassant significativement le seuil de prédiction fixé par l’une des trois méthodes de détection d’anomalie temporelle employées. Pour ce faire, la recherche d’agrégat était basée sur un modèle de Bernouilli : chaque hexagone était considéré comme un « cas » ou comme un « non cas » selon si le nombre de morts qui y étaient observés était supérieur ou non à la limite supérieure de l’intervalle de prédiction fourni par la méthode de détection d’anomalies temporelles appliquée.

Tableau 32 : Méthodes de détection envisagées pour la recherche d’agrégats d’unités spatiales en excès de mortalité

	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6
Calcul de la valeur attendue dans chaque unité géographique	Regression de Poisson	Regression de Poisson	Regression de Poisson + analyse des résidus par CUSUM	Regression de Poisson + analyse des résidus par CUSUM	Méthode des limites historiques	Méthode des limites historiques
Modèle utilise pour la recherche d’agrégat par les statistiques de scan	Poisson	Bernouilli	Normal	Bernouilli	Poisson	Bernouilli

Aucune de ces méthodes n’a présenté de résultats équivalents à la méthode initialement choisie et présentée dans l’article 5.

De nombreuses autres modifications, que nous n’avons pas testées, pourraient être envisagées : amélioration des modèles de prédiction temporels (par exemple par l’ajout de données météorologiques dans l’ajustement), construction d’un maillage hexagonal de taille différente, prise en compte des agrégats secondaires, prise en compte d’agrégats non circulaires, combinaison de plusieurs méthodes d’analyse temporelle pour définir les hexagones « cas » et « non cas » au cours d’une semaine donnée, réalisation de l’analyse à l’échelle quotidienne, etc.

4 Conclusion sur l'identification des excès de mortalité

Les résultats des études que nous avons menées, d'abord d'un point de vue rétrospectif, en étudiant les excès de mortalité survenus dans les départements français au cours de l'épizootie de FCO, puis par simulation pour évaluer les performances d'une stratégie d'analyse prospective, sont encourageants. Ils suggèrent que la qualité et la disponibilité des données de mortalité en France pourraient permettre la mise en place d'un dispositif susceptible d'aider les autorités vétérinaires à mieux quantifier les effets d'évènements sanitaires en cours ou passés, voire à détecter certaines menaces par leur effet sur la mortalité bovine.

Nous avons étudié les effets de la FCO sur la mortalité bovine plus d'un an après la fin de l'épizootie, mais la même méthode d'analyse aurait pu être appliquée dans un délai beaucoup plus court après cet événement. Des études d'impact plus précoces nécessiteraient toutefois d'être interprétées avec plus de précaution. En effet, les données sont rapidement disponibles dans la BDNI peuvent faire l'objet de corrections *a posteriori* par les éleveurs. En utilisant des données enregistrées depuis plusieurs mois dans la BDNI, nous avons pu avoir accès à des données consolidées, auxquelles les corrections nécessaires avaient déjà été apportées. Par ailleurs, comme nous l'avons évoqué précédemment, des études d'impact précoces ne remplacent pas des études à plus long terme puisque les effets d'une épizootie telle que la FCO, qui a causé des avortements tardifs chez les animaux infectés, peuvent être fortement retardés par rapport au pic épizootique de cas cliniques.

Si nos travaux consacrés à la FCO ont clairement démontré l'intérêt des données de la BDNI pour l'évaluation de l'impact d'une maladie, démontrer la capacité d'une stratégie d'analyse donnée pour détecter de manière prospective des menaces sanitaires émergentes s'est révélé plus complexe. La simulation réalisée a donné des informations sur les performances potentielles de l'approche proposée, qui nécessitent d'être complétées, par exemple par une évaluation des performances prospective, basé sur le recueil des résultats d'un dispositif fonctionnel et produisant des alarmes qui peuvent être interprétées et qualifiées (échec/succès) au fil de l'eau. Cette démarche demanderait évidemment beaucoup plus de ressources, humaines et financières, que l'approche par simulation que nous avons adoptée, mais fournirait des résultats plus conclusifs.

Considérant les résultats obtenus, nous pensons qu'un dispositif de surveillance de la mortalité pourrait être mis en place en France pour aider les autorités à détecter des maladies émergentes en santé animale. Même si cet objectif n'était pas atteint, le dispositif proposé fournirait en tout cas un outil utile et efficace pour suivre les épizooties, leur évolution et leur effet sur la santé, ainsi que l'efficacité des mesures de contrôle prises à son encontre.

Dans un dernier chapitre, nous discutons de l'intérêt global de la mortalité bovine comme indicateur de surveillance épidémiologique, avant de proposer les contours d'un dispositif de surveillance de la mortalité qui pourrait rapidement être mis en place en France.

CHAPITRE 4.

DISCUSSION GENERALE : VERS UN DISPOSITIF DE SURVEILLANCE BASE SUR LA MORTALITE ?

Sur la base des résultats des travaux que nous avons réalisés, nous discutons dans cette quatrième et dernière partie de la faisabilité et de la pertinence d'un dispositif de surveillance de la mortalité bovine, en regard de trois objectifs : détection de menaces sanitaires, évaluation de l'impact sur la santé d'évènements en cours ou passés et amélioration globale du niveau sanitaire dans les élevages bovins. Nous terminons notre exposé par une proposition de dispositif de surveillance, en détaillant ses objectifs ainsi que les moyens à mettre en œuvre et les acteurs à mobiliser pour les atteindre.

1 La mortalité est elle un bon indicateur de surveillance épidémiologique ?

Comme nous l'avons expliqué dans les chapitres précédents, un dispositif de surveillance de la mortalité est susceptible de répondre à différents besoins : détecter une menace pour la santé, évaluer l'impact sanitaire d'un évènement identifié, et améliorer l'état de santé global de la population sous surveillance.

Les études présentées dans cette thèse ont permis d'évaluer la faisabilité et la pertinence d'un dispositif de surveillance basé sur la mortalité bovine vis-à-vis de ces trois objectifs.

A l'aune des résultats de nos différentes études, que pouvons-nous conclure ?

Ces réflexions sur l'intérêt de la surveillance de la mortalité, et plus généralement de la surveillance syndromique en santé animale, basées sur les résultats de nos travaux ont fait l'objet de deux articles en français (Calavas et al., 2012; Perrin et al., 2012) qui paraîtront à la fin de l'année 2012 dans la revue scientifique française *Epidémiologie et santé animale*, dans un numéro spécialement consacré à la surveillance syndromique.

1.1 Pour la détection de menaces sanitaires

De nombreux épidémiologistes considèrent que la surveillance de la mortalité, bien que celle-ci représente l'expression ultime d'une pathologie chez un individu, peut être utilisée comme indicateur pour détecter précocement l'apparition d'une menace sanitaire à l'échelle d'une population (Caserio-Schönemann et al., 2005). La plupart des projets de surveillance de la mortalité actuellement en développement, dont le projet européen EuroMoMo (Gergonne, 2010; Kanieff et al., 2010), ont d'ailleurs pour premier objectif de détecter rapidement d'éventuelles menaces sanitaires.

En santé animale, l'exemple de la maladie de Schmallenberg semble confirmer la potentialité de tels dispositifs. L'Europe a en effet fait récemment face à l'émergence de ce nouveau virus, qui a causé des malformations létales chez les agneaux (principalement) et les veaux (de manière plus anecdotique). L'infection étant souvent inapparente chez les adultes, ces morts constituaient souvent les premiers signes de la présence du virus dans un élevage. Un système de notification *ad hoc* a d'ailleurs été mis en place pour surveiller le nombre de veaux mort-nés avec une malformation et identifier par ce biais la présence de la maladie dans le cheptel français.

Détecter des menaces sanitaires par leur impact sur la mortalité ne sera bien entendu possible que si les données de mortalité sont disponibles rapidement et s'il existe des outils permettant d'y détecter des anomalies. Mais au delà de ces considérations logistiques et méthodologiques, l'approche ne pourra atteindre son objectif que si la mortalité est un indicateur représentatif et précoce de la présence de certaines menaces.

1.1.1 Disponibilité des données

Nous avons basé une grande partie des travaux de thèse sur les données de la BDNI. La principale raison était que ces données ont été disponibles plus tôt au cours de la thèse que celles de l'EDI-SPAN. De plus, ces données provenaient d'un système mis en place il y a plus longtemps, ce qui permettait d'avoir accès à des données déjà validées, et représentant un

historique plus long (la BDNI a été opérationnelle à partir de 2003 tandis que l'EDI-SPAN a été mis en place fin 2006).

Mais les deux bases de données couvrent théoriquement l'ensemble du cheptel bovin (cf. Chapitre 2) et sont mises à jour relativement fréquemment, même si les fichiers appels de l'EDI-SPAN présentent la meilleure réactivité (Tableau 33). En effet, les éleveurs notifient normalement les morts à la BDNI dans un délai de sept jours, mais près de 20% des notifications sont faites au delà de ce délai réglementaire. Les fichiers appels correspondant aux demandes d'enlèvement (que les éleveurs doivent faire, selon le code rural, dans un délai de 48h après la mort de l'animal) sont eux transmis automatiquement à l'EDI-SPAN avec un délai moyen de 2,7 jours. Les délais d'obtention des données sur les enlèvements sont en revanche plus longs puisque celles-ci doivent être transmises dans les sept jours suivant le ramassage du cadavre, qui doit lui-même être fait dans un délai maximum de deux jours francs après la demande de l'éleveur. Le délai moyen entre le ramassage et son enregistrement est de 16 jours.

Tableau 33 : Caractéristiques des différentes sources de données sur la mortalité bovine

	Notification mortalité BDNI	Fichier des appels EDI- SPAN	Fichier des tournées EDI- SPAN
Historique disponible	>2003	>2007	>2007
Couverture	Nationale	Nationale	Nationale
Disponibilité	7 jours	2-3 jours	15 jours
Qualité	Excellente	Médiocre	Bonne

La qualité des données enregistrées dans ces bases nationales et les erreurs de notification qu'elles contiennent sont difficiles à évaluer. Nous avons vérifié la qualité des données enregistrées dans les deux bases en analysant leur cohérence interne respective, et traité les anomalies facilement identifiables (cf. Chapitre 2). En revanche, nous n'avons pas pu identifier les erreurs de notification ou de saisie lorsque les données enregistrées étaient plausibles. Les contrôles officiels suggèrent qu'il existe une sous-déclaration, volontaire ou involontaire, des morts (notamment de veaux) et/ou des mouvements, mais son importance est difficile à estimer. Les biais de notification éventuels pourraient cependant ne pas affecter les performances de la détection d'anomalies, si ceux-ci sont stables au cours du temps. En revanche, si ces biais varient avec le temps, par exemple en fonction des évolutions réglementaires ou du contexte socio-économique, ceux-ci seront susceptibles d'affecter les performances des méthodes de détection basées sur l'historique de données disponibles. Seule une interprétation des signaux avec des personnes en prise avec le terrain et les évolutions réglementaires peut permettre d'attribuer certains signaux à des biais éventuels.

Le volume de données collecté et traité par les systèmes d'information du ministère en charge de l'Agriculture ne cesse d'augmenter, mais les outils actuellement disponibles permettent d'administrer et d'interroger les bases sans difficulté. La mise en place d'un dispositif de surveillance ne nécessiterait pas d'évolution particulière des bases en place.

1.1.2 Détectabilité des anomalies de mortalité

La méthodologie de détection d'anomalies représente certainement le défi le plus difficile à relever pour les structures qui tentent de mettre en place des dispositifs d'alerte précoce.

Nous avons identifié et évalué plusieurs méthodes de détection d'anomalies applicables aux données de mortalité disponibles et susceptibles d'être employées dans le cadre d'un

système de surveillance. Nous avons d'une part recherché des anomalies sur des séries temporelles (construites à l'échelle départementale et nationale) et d'autre part proposé une méthode spatio-temporelle, appliquée à l'échelle nationale et visant à détecter des regroupements d'unités spatiales (hexagones réguliers) présentant des excès inhabituels de mortalité.

Quelle que soit leur nature, les algorithmes de détection identifient classiquement les augmentations anormales en regard d'un niveau de référence établi à partir de l'historique de la population surveillée. Pour la mortalité, ce niveau de référence est difficile à déterminer car de nombreux facteurs entrent en jeu. En effet comme nous l'avons décrit, la mortalité des bovins présente d'importantes fluctuations saisonnières, variables selon l'aire géographique considérée et la démographie (âge et type de production) de la population. Cette saisonnalité résulte du regroupement des vêlages, de facteurs climatiques, des conditions de stabulation hivernales, etc.

Nos résultats suggèrent que les méthodes basées sur une modélisation de Poisson permettent de capturer fidèlement les fluctuations basales de la mortalité bovine. La qualité prédictive des modèles temporels a été confirmée par la correspondance entre les prédictions et les valeurs observées au cours du premier semestre 2007 et du second semestre 2009 lors de nos études dédiées à l'épizootie de FCO. Toutefois, l'ajout d'autres covariables pertinentes pourrait encore améliorer les prédictions. Les indicateurs météorologiques sont par exemple des facteurs centraux dans les modèles de mortalité humaine (Fouillet et al., 2007). Ils pourraient aussi être pertinents pour les modèles bovins (sous réserve que l'on souhaite ne pas détecter de tels évènements) puisque l'effet de la température et de l'hygrométrie sur la mortalité bovine a déjà été montré (Stull et al., 2008; Crescio et al., 2010). La mortalité chez les bovins étant souvent liée au vêlage (Thomsen et al., 2004), il pourrait par ailleurs être judicieux de prendre en compte le nombre de vêlages notifiés au cours des semaines précédentes pour prédire le nombre de morts attendu lors d'une semaine donnée. Des améliorations au niveau de la structure même du modèle sont aussi envisageables, comme par exemple la modélisation de l'autocorrélation qui persiste dans les séries résiduelles et que nous avons négligée.

L'indicateur utilisé dans nos travaux était le taux d'incidence de mortalité, calculé de manière exacte à partir du nombre d'animaux-jours calculés par un algorithme que nous avons développé. En routine, cet indicateur ne sera pas disponible aussi rapidement que les données de mortalité. En effet, les notifications de mouvements à la BDNI, nécessaires au calcul de ce dénominateur, sont généralement notifiées dans un délai de sept jours tandis que les morts sont notifiées dans un délai de 48 heures. Dans un système opérationnel, l'accès à des données populationnelles antérieures (correspondant à la population des semaines précédentes) pourrait toutefois être suffisant. Des indicateurs plus simples pourraient même être utilisés, comme l'a montré l'inventaire mené en Europe. Le gouvernement de Catalogne a par exemple mis en place un système de surveillance des demandes d'équarrissage, appelé Programa de Vigilància de la Mortalita de les Explotacions Ramaderes (PROVIMER), dont le but est de détecter rapidement d'éventuels foyers de maladies infectieuses. Chaque semaine, les demandes d'enlèvements de cadavres sont analysées, et lorsque le nombre d'animaux dépasse un seuil prédéterminé par espèce et par exploitation (sept cadavres pour les bovins, 30 cadavres de plus de 20 kg pour les ovins) une notification est envoyée par email aux services vétérinaires officiels qui procèdent à des investigations et rédigent un rapport dans les sept jours. L'indicateur utilisé est le nombre de

morts (non rapporté à un dénominateur). Malgré toutes les limites que cela induit (même seuil utilisé pour des grandes et des petites exploitations), les gestionnaires du système en sont satisfaits et déclarent identifier par ce biais des exploitations problématiques.

1.1.3 Représentativité de l'indicateur mortalité

Pour que le dispositif envisagé soit en mesure d'atteindre son objectif de détection précoce, il faut que les données nécessaires soient disponibles rapidement (paragraphe 1.1.1), que des outils permettant la détection d'excès de mortalité soient en place (paragraphe 1.1.2), mais aussi qu'il existe une corrélation suffisamment forte entre l'apparition d'une nouvelle maladie dans la population et une augmentation de mortalité.

Plusieurs de nos travaux ont été consacrés à l'étude rétrospective de l'épizootie de FCO et de son impact sur la mortalité. Lors de ces travaux, la question de savoir si le suivi de la mortalité en temps réel aurait pu permettre de détecter précocement l'introduction de la maladie s'est naturellement posée. Les résultats de nos études rétrospectives ont montré que dans de nombreux départements, l'apparition d'excès significatifs de mortalité était corrélée à celle des notifications officielles de foyer. Cette observation a été confirmée par l'enquête menée auprès des DDecPP, au cours de laquelle de nombreux répondants ont indiqué que les pics de mortalité identifiés par nos modèles correspondaient à des épisodes cliniques de la maladie dans leur département. Mais si des excès de mortalité étaient effectivement identifiables en même temps que les premiers cas cliniques observés, il est toutefois difficile de savoir si ces premiers auraient pu véritablement constituer le premier signal d'alarme. Une étude rétrospective menée en Belgique sur les demandes d'enlèvement de bovins, d'ovins et de caprins automatiquement enregistrées de 2002 à 2006 par la société d'équarrissage belge Rendac suggère que des augmentations significatives de la mortalité des ruminants dues à la FCO sont survenues dans les régions infectées avant les premières notifications officielles (Mintiens et al., 2011). Dans certains départements français, la notification des premiers cas était précédée par des excès de mortalité que les agents des services vétérinaires départementaux ont attribués à des pics de maladie. Malheureusement, nous ne disposons pas d'éléments nous permettant de confirmer le lien entre ces signaux précoces et la maladie, et ne nous pouvons donc pas nous baser sur cet exemple pour apporter de conclusion formelle quant à la capacité de l'approche à détecter l'apparition d'une maladie.

Même si un dispositif avait été fonctionnel au moment de l'apparition de la FCO et avait effectivement identifié des augmentations significatives de la mortalité, il est difficile de prévoir quelle aurait été la réaction des récipiendaires de l'alarme produite. Auraient-ils réagi et mené des investigations conduisant à l'identification de la maladie, ou cette observation serait-elle restée sans suite ? Leur réaction aurait été probablement déterminée par les performances en routine du système de surveillance et notamment par sa spécificité. La surveillance syndromique est par nature peu spécifique. Les indicateurs suivis peuvent varier pour des raisons non sanitaires, sans intérêt ou aléatoires, ce qui rend difficile la distinction d'un signal pertinent au sein du bruit sous-jacent. Accident de la route, incendie, abattage sanitaire, sont autant d'évènements qui ne justifient pas une alerte épidémiologique mais qui seront à l'origine de pics de mortalité que les algorithmes de détection identifieront comme des anomalies. Cette faible spécificité, entraîne un risque de multiplier les fausses alertes et pose donc la question de la soutenabilité de tels systèmes (Reingold, 2003), qui semble être un des principaux écueils auxquels s'exposent les DSS

(Hope et al., 2006). Ce risque va de pair avec le lien intangible entre sensibilité et spécificité et la très faible valeur prédictive positive de la détection de phénomènes nouveaux, inhabituels et qui ne surviennent qu'exceptionnellement (ex. bioterrorisme). En voulant maximiser la sensibilité, on risque d'augmenter mécaniquement le nombre de fausses alertes (signaux qui dépassent le seuil fixé, mais qui sont en fait aléatoires), ce qui dégrade les performances globales du système et en diminue l'acceptabilité par les acteurs en charge de l'investigation et de la gestion des alertes émises.

Notre étude de performances menée par simulation ne nous a malheureusement pas permis d'évaluer la spécificité du dispositif de surveillance car nous n'avons pas assez d'éléments pour caractériser les anomalies identifiées dans l'historique de données et distinguer les vraies des fausses alarmes. Il semble que la spécificité d'un tel dispositif ne puisse être formellement évaluée que de manière prospective à partir d'un dispositif opérationnel, testé par exemple dans un département pilote, en enregistrant au fil de l'eau les résultats de surveillance (fausse / vraie alarme, etc.), selon divers niveaux de calibration des algorithmes (paramètres et seuils de détection).

Nous avons mené la plupart de nos travaux de manière rétrospective, connaissant, au moins grossièrement, la distribution spatio-temporelle des événements étudiés. En revanche, dans un système de détection prospectif, le type de signal, c'est à dire le nombre et la distribution des morts excédentaires, qui sera associé à un événement inattendu ne peut être prévu à l'avance. Il existe donc un certain paradoxe entre le fait de vouloir détecter des événements inattendus et la mise en œuvre d'outils qui ne sont capables de détecter que des signaux dont la forme, l'amplitude et la "localisation" ont été prédéfinis (échelle de surveillance espace-temps-population). Ce paradoxe est à l'origine de la difficulté d'établir une stratégie d'analyse pertinente, comme nous l'avons exposé à la fin du Chapitre 3.

1.1.4 Précocité d'un dispositif basé sur la mortalité

Dans l'hypothèse où une menace sanitaire émergente provoquerait effectivement des morts dans la population, l'indicateur mortalité est-il assez réactif pour permettre la détection précoce de cette menace et en améliorer la gestion ?

A l'échelle d'une exploitation ou d'une plus grande population, l'augmentation de la mortalité peut effectivement être le premier signal identifiable d'une maladie, notamment si la maladie en question n'a pas de manifestations cliniques importantes, ou s'il n'existe pas de dispositif de surveillance repérant et collectant ces informations assez rapidement. Mais la perspective ultime de la surveillance n'est pas tant la détection que l'action. La précocité d'un dispositif ne devrait donc pas être évaluée uniquement au regard de la rapidité de détection d'un signal, mais plutôt en englobant aussi la phase aval d'investigation et de diagnostic (Reingold, 2003; Kaufmann et al., 2005). En effet, comment agir efficacement suite à l'identification d'une augmentation anormale de la mortalité dans une population si l'on n'en connaît pas la cause ?

La réaction à avoir face à un signal non spécifique est une problématique générale de la surveillance syndromique. Des mesures de contrôle génériques, telles que l'interdiction des mouvements ou le renforcement de mesures de biosécurité, peuvent certes être prises mais les définir de manière pertinente et les faire appliquer (acceptation par les partenaires, bases réglementaires) est difficile en l'absence d'information sur la cause du phénomène et ses déterminants. L'intégralité de la séquence identification-investigation-diagnostic

(figure 1) doit donc être prise en compte (Buehler et al., 2004b; Sosin and DeThomasis, 2004).

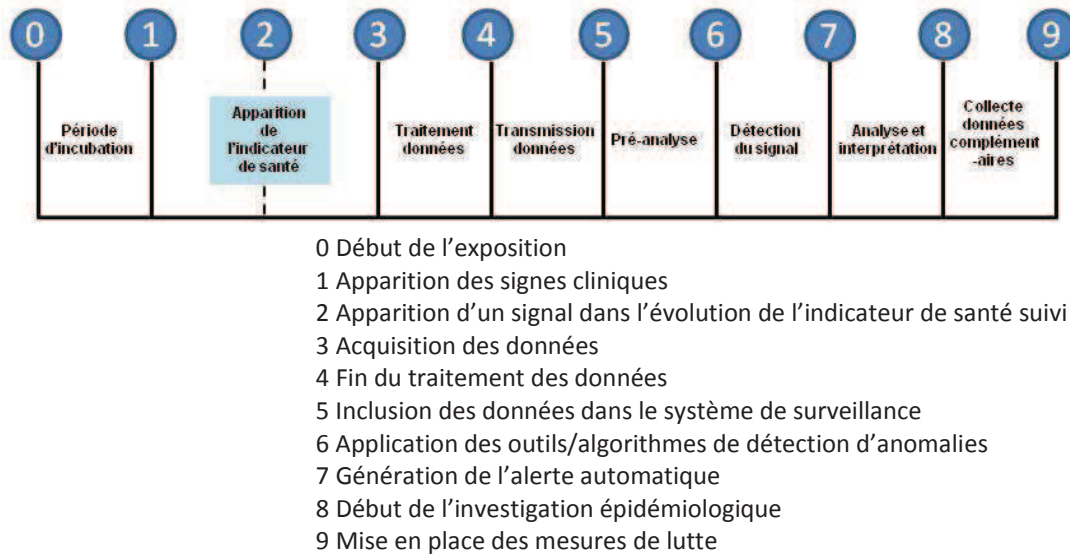


Figure 65 : Etapes chronologiques pour la détection précoce d'événements [d'après (Buehler et al., 2004b)]

La moyenne et la variance du délai entre l'exposition (0 sur la Figure 65) et la mort (2 sur la Figure 65) sont importantes car elles sont susceptibles de faire varier respectivement la réactivité du système (plus ils sont courts, plus l'alerte est précoce) et sa sensibilité (si ce délai est très variable d'un individu à l'autre, alors une exposition commune de plusieurs individus ne résultera pas en un pic de mortalité, mais en un signal « dilué » plus difficile à détecter). En sus des facteurs liés à la maladie et au malade, l'euthanasie est un facteur susceptible d'affecter le délai entre l'exposition et la survenue de la mort, mais dont les déterminants sont mal connus. Les résultats préliminaires de l'enquête menée auprès des éleveurs suggèrent qu'à pathologie semblable, le délai avant la décision d'euthanasier un animal varie en fonction de facteurs liés à l'animal (âge, sexe, type de production, productivité, valeur génétique, etc.), à l'éleveur (culture, attachement à l'animal, sensibilité au bien-être animal, etc.) et au contexte (prix de la viande, des soins, etc.). Des études plus approfondies pourraient être nécessaires pour identifier clairement les déterminants de ce phénomène et son impact sur les performances d'un éventuel futur dispositif de surveillance basé sur la mortalité.

Le délai entre la survenue de la mort et son enregistrement dans le dispositif EDI-SPAN (délai 2-3 sur la Figure 65) dépendra de la rapidité avec laquelle l'éleveur va constater la mort de l'animal et surtout avec laquelle il notifiera celle-ci. La constatation de la mort d'un animal en exploitation est souvent quasi-immédiate car les animaux sont sous la surveillance étroite de l'éleveur. Toutefois, ce délai varie probablement de manière saisonnière et augmente probablement lors de la période estivale quand les animaux sont dans des pâtures distantes de la ferme. Ainsi dans notre enquête postale sur la mortalité bovine, le délai entre la mort et sa constatation était souvent inconnu : 30% des animaux étaient « trouvés morts » sans avoir été vu malades, soit parce qu'ils étaient victimes d'une maladie foudroyante, soit parce qu'ils n'étaient pas surveillés continuellement. Dans cette même enquête, les déclarations des éleveurs indiquaient que les délais entre la constatation de la mort et la notification à

l'équarrissage étaient courts et respectaient presque systématiquement le délai réglementaire de 48 heures.

Considérant les outils informatiques existants, les étapes ultérieures de traitement des données jusqu'à leur analyse et la génération d'alarmes automatiques (4-7) peuvent être réalisées dans un temps très limité, sauf dans le cas d'analyses extrêmement gourmandes en ressources informatiques.

La dernière étape critique pour la précocité du dispositif sera donc l'interprétation des alarmes et leur investigation. L'interprétation par les personnes adéquates des alarmes générées automatiquement doit impérativement précéder tout déploiement d'équipes d'investigation sur le terrain, afin de limiter les dépenses d'énergie de temps et d'argent pour de fausses alertes. La précocité du système sera donc dépendante de la disponibilité des personnes en charge de réaliser cette interprétation.

De même, le dispositif ne jouira d'une bonne précocité que si des équipes d'investigation peuvent effectivement être envoyées sur le terrain pour identifier l'origine du danger. L'efficacité de ces investigations dépendra des caractéristiques de l'alarme générée par le système. Plus grande sera la population concernée par l'anomalie, plus difficiles à mener seront les investigations : comment réagir face au constat d'une augmentation de la mortalité dans un département ? Au contraire une méthode permettant d'identifier des exploitations particulières accélérerait les investigations. Des évolutions réglementaires seront peut-être nécessaires pour permettre aux agents de l'Etat d'intervenir sur le terrain suite à l'identification d'une anomalie de mortalité. En effet, actuellement les interventions des services vétérinaires se basent sur la suspicion de maladies réglementées. Or un dispositif syndromique ne produit que des alarmes non spécifiques, qui peuvent être causées par des maladies inconnues et/ou non réglementées.

1.1.5 Comparaison par rapport aux performances des dispositifs existants

Même si le dispositif se révèle capable de détecter certains phénomènes manqués par les systèmes traditionnels de surveillance, il ne sera en revanche pas capable de détecter toute menace sanitaire. Le type d'approche ayant le plus de chances de détecter un phénomène de santé dépendra des caractéristiques de ce dernier : variabilité de la période d'incubation, durée de la phase prodromique, caractère pathognomonique des signes cliniques, délai minimal pour établir un diagnostic formel (Buehler et al., 2003).

Si la durée d'incubation est très variable d'un individu à l'autre et que la maladie est diffuse dans la population, la maladie aura plus de chance d'être détectée par une surveillance clinique (événementielle), car le signal (mortalité ou autre indicateur) est dilué et a donc une probabilité faible de dépasser le seuil d'alerte d'un DSS qui suivrait le phénomène. Au contraire, si cette période d'incubation est peu variable, un DSS pourra théoriquement permettre de détecter plus précocement le démarrage de la courbe épidémique, qui sera plus abrupte. Une durée courte de la phase non spécifique de la maladie (prodromes) et une relative homogénéité des signes cliniques entre individus joueront en la faveur de la surveillance événementielle ; le cas contraire sera à l'avantage de la surveillance syndromique, qui pourra détecter une augmentation du nombre de cas non spécifiques. Enfin, un délai de diagnostic court jouera en faveur de la surveillance événementielle, tandis qu'un délai de diagnostic allongé jouera en faveur de la surveillance syndromique, tout au moins pour identifier le phénomène.

On le voit ici, les DSS n'ont pas vocation à remplacer les réseaux de surveillance actuellement existants et basés sur les observations des professionnels de terrain. Ils ne représentent qu'un outil supplémentaire qui peut augmenter les chances de détecter des événements inattendus.

1.1.6 Rapport coût-bénéfice

Basés sur la mortalité ou non, les DSS sont généralement considérés moins onéreux que les dispositifs traditionnels parce qu'ils exploitent des données déjà produites par ailleurs et ne se basent pas sur des analyses de laboratoire pour lancer des alarmes. L'utilisation de données déjà existantes est considérée, à juste titre, comme une économie majeure, car la production de données constitue l'un des principaux postes de dépense de tout système de surveillance. En revanche, le moindre coût d'acquisition des données peut être contrebalancé par leur qualité (précision, justesse) et leur pertinence pour la surveillance.

L'évaluation des données déjà collectées par les dispositifs en place en France montre que celles-ci peuvent avantageusement être employées pour la surveillance syndromique, même si des évolutions seraient appréciables (cf. paragraphe 2.4.1.2).

Mais l'acquisition des données n'est pas le seul poste de dépenses dans un dispositif de surveillance. Les ressources humaines (statisticiens, administrateurs de bases de données, épidémiologistes pour l'interprétation des alarmes statistiques et leur investigation) et logistiques (serveurs et logiciels capables de traiter des grandes quantités de données) nécessaires au fonctionnement du système peuvent être importantes selon le volume de données traité. A ces dépenses s'ajoutent celles relatives aux investigations qui découlent de l'émission des alarmes (Hope et al., 2006), le DSS ne pouvant être dissocié du système global de surveillance et d'action dans lequel il s'insère. La faible spécificité des dispositifs peut engendrer des coûts très importants en aval pour analyser les alertes, incluant déplacements, analyses de laboratoire et temps de travail de scientifiques et des agents de terrain. A ces coûts s'ajoutent par ailleurs ceux relatifs à l'animation du réseau décentralisé pour que les alertes restent recevables à long terme.

Peu d'études ont été menées sur le coût afférent à un dispositif de surveillance syndromique (Kirkwood et al., 2007) alors que la surveillance syndromique a un coût non négligeable qu'il convient d'évaluer (Josseran et al., 2010b).

1.2 Pour l'évaluation de l'impact sur la mortalité d'un événement identifié

Même si la finalité d'un DSS est l'alerte précoce, son maintien au quotidien ne peut être assuré que s'il fournit d'autres services aux personnes qu'il implique. L'expérience accumulée avec les DSS opérationnels en santé humaine (cf. Chapitre 3) suggère que leur principal intérêt est la mise à disposition rapide d'informations sur l'impact ou l'absence d'impact d'un événement sanitaire identifié mais à la dangerosité inconnue, comme les vagues de froid, la pandémie de grippe ou les épidémies de grippe saisonnières.

Dans le cas de la FCO, les estimations d'impact ont été difficiles à mener pendant la propagation de la maladie, d'une part parce que tous les cas n'étaient pas détectés et d'autre part parce qu'aucun système n'avait été préalablement mis en place pour collecter et analyser les données nécessaires. Les modèles que nous avons construits nous ont permis d'évaluer la surmortalité survenue lors de l'épizootie, mais aussi au cours des semaines et des mois qui ont suivi. Contrairement aux études menées sur le terrain pendant la

propagation du virus, cette approche a permis de prendre en compte des conséquences à plus long terme de la maladie, en particulier sur les veaux nés de mères infectées pendant la gestation, et contrairement aux études basées sur l'interrogation des éleveurs après le passage de l'épizootie, sa couverture était large, et elle n'a pas souffert de biais de mémoire. L'approche que nous avons employée aurait pu être appliquée de manière plus réactive, pour produire en temps réel des informations sur l'impact de la maladie, qui auraient pu guider les gestionnaires de risque dans leurs prises de décisions.

Ainsi, si la surveillance réactive de la mortalité bovine n'a pas prouvé sa capacité à détecter précocement l'apparition d'une maladie, elle a en tout cas déjà démontré son intérêt pour évaluer rapidement les conséquences sur la mortalité d'événements identifiés mais dont la dangerosité est inconnue ou mal connue et ainsi permettre de réagir et communiquer rapidement sur le risque (ou son absence).

1.3 Pour l'amélioration de l'état sanitaire du cheptel et des pratiques d'élevage

La collecte et l'analyse régulières des données de mortalité peuvent aider les acteurs de la santé animale à prendre des mesures efficaces en matière de planification des programmes de santé, de leur mise en œuvre et de leur évaluation.

1.3.1 Détection de pratiques d'élevage inappropriées

La surveillance de la mortalité bovine peut permettre de détecter des élevages où les conditions de bien-être animal ne sont pas respectées, avec par exemple l'arrêt de l'alimentation des animaux dans les élevages en déréliction sociale. La mortalité des veaux est par exemple un indicateur utilisé par les services vétérinaires du Royaume-Uni pour identifier les fermes suspectées de ne pas respecter la réglementation sur le bien-être animal (Ortiz-Pelaez et al., 2008). De même, les données de mortalité peuvent être analysées pour détecter le non respect de certaines règles sanitaires. Dans le dispositif espagnol PROVIMER (Arinero, 2011), les demandes d'équarrissage sont par exemple analysées pour identifier les éleveurs déclarant trop peu de mortalité et dérogeant ainsi probablement à l'obligation d'envoyer leurs cadavres au service d'équarrissage. Lorsque des données d'équarrissage sont disponibles, elles peuvent par ailleurs être croisées avec les données d'identification et de mouvements pour identifier les irrégularités de notification.

La recherche de ces pratiques inappropriées peut être effectuée sur un pas de temps court, par exemple pour détecter des élevages en déréliction sociale où l'augmentation du niveau de mortalité est soudaine, ou plus long, par exemple pour organiser les contrôles officiels des élevages selon une analyse de risque basée sur ce critère.

Plusieurs pays européens ont mis en place des dispositifs dans lesquels la mortalité est utilisée comme indicateur global de santé, pour identifier les élevages dont l'état sanitaire se dégrade et où l'intervention d'un vétérinaire est nécessaire.

Aux Pays-Bas, le système Continuous cattle health monitor (CCHM) surveille les données produites en routine par les exploitations bovines laitières (Brouwer et al., 2011). Le taux de mortalité des adultes et celui des veaux sont deux des sept paramètres évalués trimestriellement (avec notamment l'incidence des mammites sub-cliniques et le taux de cellules dans le lait de tank). Les performances de l'exploitation vis-à-vis de chacun de ces

paramètres sont évaluées par rapport à des seuils préétablis et identiques pour tous les élevages. Un score global est attribué à chaque exploitation en fonction de ses résultats. Selon le score obtenu, les éleveurs sont encouragés à prendre contact avec leur vétérinaire ou font l'objet d'une visite sanitaire. Pour les élevages obtenant plusieurs scores défavorables successifs, un plan visant à améliorer le niveau sanitaire est élaboré avec l'éleveur.

Les autorités finlandaises ont mis en place une base de données centralisée sur la santé des bovins, Nautaterveydenhuollon seurantajärjestelmä (Naseva). Cette base contient pour chaque exploitation inscrite (70% des élevages bovins de Finlande) un très grand nombre de données, dont le résultat des visites sanitaires que réalisent les vétérinaires au moins une fois par an, les résultats des analyses de laboratoire, les données d'inspection à l'abattoir, les données de production et de consommation de médicaments vétérinaires, etc. La mortalité par catégorie d'âge fait partie des indicateurs suivis lors de la visite sanitaire. Le dépassement de certaines valeurs donne lieu à une alerte transmise au gestionnaire de la base ainsi qu'aux personnes (par ex. vétérinaire) choisies par l'éleveur concerné.

En Suède, la Kodatabasen (base de données sur les bovins, distincte du registre d'identification national) regroupe des informations sur toutes les exploitations bovines et les vaches suivies par le contrôle laitier, les centres d'insémination artificielle, tous les programmes de contrôle mis en place par l'industrie agro-alimentaire. La mortalité fait partie des indicateurs suivis dans le « baromètre d'exploitation » utilisé pour identifier les élevages « à problèmes ».

Les analyses et documents produits décrits dans le Chapitre 2 montrent qu'un dispositif de ce type pourrait aisément être mis en place en France.

1.3.2 Analyse globale des tendances

En parallèle de la détection d'augmentations soudaines, les autorités sanitaires ont intérêt à surveiller les tendances à long terme de la mortalité, pour pouvoir intervenir en cas d'évolution défavorable. L'évolution de la mortalité en exploitation est actuellement préoccupante, notamment chez les bovins pour lesquels de multiples auteurs rapportent une augmentation générale de la mortalité depuis une dizaine d'années (Perrin et al., 2011b). Les études menées n'ont pas permis d'identifier formellement les causes de cette augmentation. Les hypothèses sont variées : augmentation de l'incidence de maladies spécifiques, changement de stratégies d'élevage (soins aux animaux malades *versus* euthanasie), augmentation du stress physiologique des animaux due à l'augmentation de la production et de la consommation de concentrés, etc.

Les informations produites par les systèmes de surveillance sur l'évolution de la mortalité peuvent aider à identifier certains facteurs de risque de la mortalité, orienter les recherches et mettre en place des plans de prévention vis-à-vis de cette problématique aux fortes implications sanitaires, mais aussi économiques et éthiques.

Des rapports produits régulièrement sur la mortalité bovine locale et son évolution pourraient être utilisés par les organisations professionnelles pour proposer des formations, des campagnes de sensibilisation dans le but d'améliorer le niveau général de maîtrise sanitaire des exploitations.

2 Proposition d'un dispositif : l'Observatoire de la mortalité bovine

Le travail de thèse a été conduit à partir d'échanges réguliers entre les différents acteurs susceptibles d'intervenir dans un dispositif national de surveillance de la mortalité. Les travaux et échanges menés ont fourni des éléments permettant de proposer une structure pour un potentiel système de surveillance. Evidemment, il ne s'agit que d'une proposition à discuter. La conception d'un réel système de surveillance devra reposer sur une proposition élaborée de manière véritablement concertée entre les différents acteurs qui le composeront.

2.1 Objectifs

L'objectif global du dispositif est de mettre à disposition de tous les acteurs de la santé animale (administration vétérinaire centrale et locale, professionnels -éleveurs, équarisseurs, vétérinaires-, agences de santé publique et instituts de recherche) des informations sur la mortalité bovine susceptibles de les aider dans leurs prises de décision, à la fois dans l'urgence en cas de crise, mais aussi pour établir des programmes de santé à plus long terme.

Plus spécifiquement, le dispositif devra :

- alerter précocement les autorités compétentes lors d'augmentations inhabituelles de la mortalité bovine ;
- produire des études sur l'impact d'évènements sanitaires en cours ou passés ;
- orienter les inspections en élevage réalisées par l'administration vétérinaire ;
- permettre de suivre et d'améliorer l'état de santé global de la population bovine en France.

2.2 Productions attendues

Le retour d'information fourni à chaque acteur doit correspondre à ses intérêts et ses capacités d'action. Le dispositif pourrait produire trois types de documents :

- des rapports techniques, édités à une fréquence annuelle ou semestrielle ;
- des tableaux de bord, édités à une fréquence plus élevée, hebdomadaire, mensuelle ;
- des notifications d'alerte, éditées suite à un événement sanitaire d'intérêt.

Les données à exploiter, les méthodes à mettre en œuvre, les documents à produire et leurs destinataires sont détaillés pour chacun des objectifs envisagés dans le Tableau 34.

2.2.1 Rapports techniques

Les rapports techniques permettraient de restituer annuellement une information synthétique aux intervenants de terrain. Trois types de rapports pourraient être produits.

2.2.1.1 Rapport départementaux à destination des DDecPP

Les administrations vétérinaires locales seraient chaque année destinataires de rapports qui présenteraient, en sus d'une description de la mortalité similaire à celle proposée dans les

rapports à destination des organisations professionnelles (cf. paragraphe suivant), le classement des exploitations ordonnées selon des indicateurs de mortalité.

Ce classement serait établi en fonction de l'importance du taux de mortalité dans l'exploitation, de son évolution (croissante, stable, décroissante) par rapport à l'année ou aux années précédente(s) et de l'écart entre les notifications BDNI - EDI-SPAN. Il pourrait être utilisé pour prioriser les contrôles officiels du respect de la réglementation vis-à-vis du bien-être des animaux d'élevage et de l'identification.

L'inclusion du dernier critère de classement (cohérence des notifications de l'éleveur dans la BDNI et l'EDI-SPAN) permettrait probablement d'améliorer la qualité des deux bases en encourageant les éleveurs à notifier de manière régulière les morts sur leur exploitation, puisque la fréquence des contrôles menés par les services vétérinaires serait moins importante dans les exploitations ayant un nombre d'erreurs de notification limité.

2.2.1.2 Rapports départementaux à destination des organisations professionnelles

Les organisations professionnelles locales, telles que les GDS et les maîtres d'œuvre locaux de l'identification (principalement des EDE) pourraient être destinataires d'un second type de rapport, inspiré des rapports édités et diffusés dans le cadre de la thèse (cf. Chapitre 2) et présentant :

- les effectifs de mortalité et la distribution du nombre de morts selon différents facteurs (race, âge, sexe, type de production) ;
- les taux et risques de mortalité pour les différentes sous-populations du département ;
- le positionnement du département par rapport aux autres départements français ;
- une description temporelle de la mortalité dans le département.

Les questionnaires d'évaluation et les suggestions apportées par les répondants pourraient être utilisés pour améliorer le document et se rapprocher des attentes de ses récipiendaires.

Ce retour d'information pourrait servir de support aux organisations professionnelles locales pour identifier leurs priorités sanitaires, orienter leurs programmes d'action et leurs campagnes de sensibilisation envers les éleveurs. GDS et maîtres d'œuvre de l'identification ont déjà montré leur intérêt pour ce type d'information au cours de la thèse (des présentations des résultats ont été faites à la demande du GDS des Vosges et de l'organisme d'identification du Calvados).

2.2.1.3 Fiche d'information éleveurs

Nous avons testé au cours de la thèse des fiches d'information sur la mortalité dans les exploitations, que les éleveurs ont grandement appréciées.

Ces documents peuvent aider les éleveurs à prendre du recul et faire le bilan sur leurs propres pratiques, visualiser l'évolution de la mortalité dans leur exploitation et se positionner par rapport à des exploitations de taille et production comparables. Ils pourraient permettre à certains éleveurs de réaliser que le niveau sanitaire de leur exploitation se dégrade ou est plus faible que dans d'autres exploitations, et les encourager

à prendre des mesures correctives. D'autre part, assurer ce retour d'information pourrait améliorer la qualité des notifications produites par les éleveurs.

Les données de mortalité étant parfois difficile à interpréter, ces bilans pourraient être transmis aux éleveurs via les vétérinaires lors de la visite sanitaire d'élevage. Ils serviraient ainsi de base à la discussion et permettraient aux vétérinaires d'avoir une meilleure vision de la situation sanitaire des exploitations et de prendre connaissance d'évènements survenus et dont ils n'avaient peut être pas été informés. En effet, notre enquête a montré qu'une importante proportion de morts dans les exploitations bovines n'est pas portée à la connaissance des vétérinaires.

Globalement la production de ce document participerait à l'amélioration du niveau sanitaire des exploitations et à l'implication des éleveurs et des vétérinaires dans le réseau.

2.2.2 Atlas national

Un atlas national de la mortalité bovine, réunissant les tendances temporelles observées dans chaque département et à l'échelle nationale, ainsi que la distribution de la mortalité sur le territoire pourrait être édité à destination de l'administration vétérinaire centrale, des instituts professionnels et techniques nationaux, et de la communauté scientifique.

Au delà de leur valeur scientifique, ces informations permettraient d'appréhender globalement la problématique de la mortalité en élevage, d'identifier certaines inégalités de santé et de poser certaines hypothèses de recherche quant à l'amélioration de l'état sanitaire global du cheptel bovin en France.

2.2.3 Tableaux de bord

Les tableaux de bord auraient pour vocation d'aider les gestionnaires du risque à identifier certains évènements sanitaires et en évaluer les conséquences, ainsi qu'à fournir des éléments de communication à destination de la société et des media en cas de crise. Contrairement aux rapports techniques, les bulletins se baseraient sur les données les plus rapidement disponibles, c'est à dire les fichiers des appels collectés par l'EDI-SPAN, pour être édités fréquemment, par exemple chaque semaine.

Nous avons proposé un modèle de bulletin hebdomadaire que pourrait produire le système (cf. Annexe). Le modèle de document que nous avons proposé, applicable à différentes échelles de surveillance (départementale, régionale et nationale), présente :

- le nombre de demandes d'enlèvements par catégorie d'âge et type de production dans la zone considérée pour la semaine en cours, les deux semaines précédentes et la même semaine l'année précédente ;
- une série temporelle représentant l'évolution récente (26 semaines) du nombre de demandes d'enlèvement dans la zone considérée, avec des intervalles de confiance calculés à partir de l'historique de cette série et selon la méthode choisie ;
- des ratios du nombre d'appels reçus sur attendus (selon l'historique disponible) pour différentes catégories d'âge et les deux types de production, et leur significativité ;
- une cartographie du nombre d'appels reçus et attendus dans la zone considérée (avec comme unité spatiale la commune dans le cas des bulletins départementaux et

le département dans le cas des bulletins régionaux et nationaux), qui pourrait être complétée par une analyse de recherche de regroupements (clusters).

Ainsi les bulletins contiendraient une partie purement descriptive des demandes d'enlèvements reçus au cours de la semaine en cours, ce qui constitue déjà en soi une information que des personnes ayant une bonne connaissance du terrain peuvent mettre à profit. Cette présentation brute du nombre de demandes d'enlèvements serait complétée par les résultats obtenus par l'application des algorithmes de détection d'anomalies temporelles et spatio-temporelles choisis.

2.2.4 Notifications d'alerte

Les notifications d'alerte seraient produites par le système en cas d'augmentation inhabituelle de la mortalité et transmises, après confirmation de l'anomalie par un groupe de référents, aux administrations vétérinaires locales susceptibles d'intervenir sur le terrain.

Pour faciliter les interventions des services vétérinaires, la liste nominative des exploitations ayant fait un nombre élevé (paramètre des algorithmes de détection d'anomalies et seuils à fixer selon les besoins du service) de demandes d'enlèvements au cours des dernières semaines pourrait être proposée.

Tableau 34 : Synthèse des données utilisées, des méthodes d'analyse, des documents produits et de leurs destinataires par objectif

Objectifs	Données	Méthodes	Supports	Destinataires	
Détection de menaces sanitaires	Par l'augmentation soudaine de la mortalité sur des séries temporelles agrégées à l'échelle départementale ou nationale (événements de grande ampleur FCO, canicule)	EDI-SPAN Fichiers des appels	Régression de Poisson Méthodes de la famille C Cartes de contrôle Méthode des moyennes historiques Méthode de Farrington Autres (RKI, Bayes, Séries chronologiques, Lissages exponentiels, etc.)	Tableaux de bord hebdomadaire / Notifications d'alerte	DDecPP / SRAL / DGAL
	Par l'identification de regroupements d'exploitation en excès de mortalité (infection qui se propage localement, problème d'alimentation, contamination de l'environnement etc.)	EDI-SPAN Fichiers des appels	Calcul d'excès de mortalité par exploitation (cf. ci-dessus) Recherche d'agrégats d'exploitations avec Satscan®	Tableaux de bord hebdomadaire / Notifications d'alerte	DDecPP / Unité mobile d'intervention
	Par l'augmentation soudaine de mortalité à l'échelle de l'exploitation (démarrage d'une épizootie, problème de bien-être animal, détresse sociale)	EDI-SPAN Fichiers des appels	Instauration d'une règle créant une alerte (ex. plus de x appels pour veaux morts en moins de x jours, plus de x appels pour adultes morts en moins de x jours) Analyse du délai entre deux appels dans chaque exploitation : Test de la présence d'un excès d « intervalles courts » (Loi de Pareto)	Notifications d'alerte Notifications d'alerte	DDecPP
Evaluation de l'impact d'un événement identifié	Contrôle de l'évolution de la mortalité pendant un événement sanitaire en cours et potentiellement dangereux	EDI-SPAN Fichiers des appels	Calcul et représentation du nombre de demandes d'enlèvements réalisées Comparaison du nombre de demandes d'enlèvements observées au nombre attendu	Tableau de bord hebdomadaire Rapport technique annuel	DDecPP, SRAL, DGAL DDecPP, SRAL, DGAL
	Quantification rétrospective de la mortalité associée à un événement sanitaire passé	BDNI			
Amélioration du niveau sanitaire du cheptel	Classement des exploitations	BDNI + EDI-SPAN	Classement des exploitations selon i) l'importance des taux ii) leur évolution (croissante, stable, décroissante) iii) l'écart BDNI - EDI-SPAN	Rapport technique annuel	DDecPP
	Production et diffusion de valeurs de référence, analyse temporelle, cartographie	BDNI	Estimation des taux bruts et standardisés, des risques de mortalité pour différentes sous population. Modélisation des séries hebdomadaires. Calcul du SMR par département	Rapport technique annuel Atlas national Fiche d'information exploitation	DDecPP, GDS, EDE DGAL, Institut de l'élevage, communauté scientifique Eleveurs, vétérinaires

2.3 Organisation institutionnelle

Le réseau sanitaire français dans lequel le dispositif s'intégrait est complexe et ne sera pas décrit dans son intégralité ici. Après être revenu sur les évolutions récentes qu'a connues ce réseau pouvant avoir un impact sur notre projet, nous décrivons l'organisation et les relations entre les différentes composantes du dispositif proposé (Figure 66) : comité de pilotage, comité technique, unité centrale, unités locales et intervenants de terrain.

2.3.1 Réorganisation de la surveillance de la santé animale en France

Le réseau de surveillance de la santé animale en France a connu d'importantes restructurations au cours des dix dernières années.

La première vague de réorganisation a eu lieu suite à la Révision générale des politiques publiques (RGPP), qui a conduit notamment à la disparition des Directions départementales des services vétérinaires (DSSV), au profit des Directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSPP), ou des Directions départementales de la protection des populations (DDPP), regroupées sous le terme générique de DDecPP.

La seconde vague de restructuration a été initiée à la suite des Etats généraux du sanitaire (EGS) qui se sont tenus au premier semestre 2010. La principale mesure découlant des EGS a été le lancement en février 2011 de la Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale, dont l'objectif est de permettre aux principaux acteurs du monde de l'exploitation et des maladies animales de détecter au plus tôt les risques sanitaires susceptibles d'affecter une filière (Ministère de l'Agriculture, 2012). Cette plate-forme doit produire l'information nécessaire pour permettre l'analyse des risques sanitaires, leur gestion et leur contrôle par les différents acteurs. Elle est placée sous la responsabilité d'un comité national d'épidémiosurveillance de la santé animale (Cnesa) et bénéficie de l'appui d'un conseil scientifique et technique. GDS France, le Société nationale des GTV (SNGTV), l'Association des directeurs et cadres des laboratoires vétérinaires publics d'analyses (ADILVA), l'organisation professionnelle unitaire de la coopération agricole (COOP de France) et l'Anses constituent le noyau dur de la plateforme. D'autres acteurs pourront rejoindre à l'avenir ces membres fondateurs (Ministère de l'Agriculture, 2012).

Les EGS ont aussi encouragé l'adoption de mesures visant à favoriser le regroupement au sein de pôles régionaux des acteurs professionnels concernés par la santé des filières animales et végétales. La mission de ces pôles (organismes à vocation sanitaire, organisations vétérinaires à vocation technique et associations sanitaires régionales) est d'assurer la coordination des actions en matière de surveillance, de prévention et de lutte contre certaines maladies et de proposer à l'État un schéma régional de couverture des risques en agriculture (Ministère de l'Agriculture, 2012). Le décret n°2012-842 a fixé les conditions de reconnaissance de ces pôles régionaux, qui permet aux pouvoirs publics de leur déléguer certaines des missions liées aux contrôles sanitaires. Ont par ailleurs été institués le Comité national d'orientation de la santé animale et végétale (CNOPSAV), et les conseils régionaux d'orientation de la politique sanitaire animale et végétale, instances régionales de consultation placées auprès du préfet de région pour la surveillance, la prévention et la lutte contre les dangers sanitaires.

D'autres évolutions de moindre ampleur ont été engagées à la suite des EGS. Une modification des contours du mandat sanitaire (qui permet à l'autorité administrative de

mandater des vétérinaires pour réaliser des opérations de police sanitaire et contrôles officiels, délivrer des certificats officiels, contrôles ou expertises en matière de protection animale) et de la visite sanitaire d'élevage (visite ayant pour but de collecter des informations de santé publique vétérinaire, de sensibiliser les éleveurs à cette problématique et améliorer le niveau de maîtrise des risques sanitaires des exploitations) est notamment envisagée.

2.3.2 Composantes du dispositif

Le dispositif de surveillance de la mortalité proposé s'inscrit dans cette réorganisation de la surveillance de la santé animale.

2.3.2.1 Pilotage

Le comité de pilotage d'un dispositif de surveillance doit réunir les principaux décideurs en matière de santé publique afin de fixer les grandes orientations et objectifs du réseau, et prendre les décisions stratégiques (Dufour and Hendrikx, 2007).

La Plateforme de surveillance épidémiologique qui joue un rôle de coordination entre les différents acteurs de la santé animale semble être la structure la mieux adaptée pour assurer le pilotage du dispositif de surveillance de la mortalité proposé. Nous proposons donc que le pilotage du dispositif de surveillance ne soit pas assuré par un comité *ad hoc*, mais fasse partie des attributions du Cnesa. Le pilotage du dispositif pourrait ainsi être l'objet d'une réunion annuelle du Comité, par exemple après la publication des rapports techniques annuels produits par le dispositif.

2.3.2.2 Suivi technique

Le Comité technique, qui a un rôle d'appui scientifique et technique de l'unité centrale, serait chargé de définir la forme et le contenu des documents (rapports techniques, tableaux de bord et notifications d'alerte) produits par le système, de l'évolution des méthodes de détection d'anomalies en fonction des besoins des utilisateurs, des problématiques liées à la collecte des données, etc. Pour ce faire, le Comité technique devrait réunir des statisticiens, des épidémiologistes spécialistes de la surveillance syndromique, recrutés par exemple au sein des agences d'évaluation des risques ou d'institutions de recherche animale mais aussi humaine (InVS), ainsi que des responsables des systèmes d'information des centres d'équarrissage et du ministère en charge de l'Agriculture (BDNI, EDI-SPAN).

Le Comité technique pourrait être organisé sous la forme d'un groupe de suivi thématique de la Plateforme dédié au projet OMAR et animé par l'Anses pour en assurer le pilotage scientifique. Etant donné le caractère innovant du dispositif proposé, ce comité devra se réunir fréquemment (par exemple à un rythme trimestriel) au moins au début du projet.

2.3.2.3 Unité centrale

Dans un dispositif de surveillance, l'Unité centrale regroupe les personnes responsables de la centralisation des données collectées, de leur analyse et de leur diffusion (Dufour and Hendrikx, 2007). Elle est chargée de coordonner les activités du dispositif et de son animation globale.

Le dispositif de surveillance de la mortalité pourrait débuter avec une unité centrale réduite à une personne, l'animateur national OMAR. Cet animateur devrait être un épidémiologiste

en santé animale, travaillant dans le cadre de la Plateforme et rattaché soit à la DGAL (Bureau de la santé animale, BSA), soit à l'Anses. Celui-ci serait en charge de l'organisation des comités de pilotage et technique et plus généralement de la communication entre les différents acteurs. Il devrait aussi assurer la production et la diffusion des documents définis par le comité technique, la gestion quotidienne du dispositif, l'organisation de la formation permanente des acteurs et l'évaluation du système. Les moyens dévolus au projet devront renforcer cette unité centrale avec une personne en charge du secrétariat et une autre en charge de l'administration des données.

2.3.2.4 *Unités locales*

Le dispositif produirait des documents à destination de nombreux acteurs, situés à des échelons différents du réseau de santé animale. Toutefois, les administrations vétérinaires locales (DDecPP, SRAL, etc.) auraient un rôle particulier et constitueraient les unités locales du dispositif, à l'interface entre l'unité centrale et le terrain. Ce rôle pourrait éventuellement être assuré par les futurs pôles régionaux, et notamment les associations sanitaires régionales, selon l'évolution que ces structures connaîtront au cours des prochaines années.

Un animateur OMAR local pourrait être désigné dans ces unités locales afin de réceptionner les bulletins et rapports techniques, et les diffuser au niveau local. L'animateur local serait par ailleurs chargé de solliciter l'avis d'un groupe de référents lorsqu'une anomalie aura été identifiée, et de modifier en conséquence la diffusion des informations.

Les DDecPP, SRAL (ou éventuellement les associations sanitaires régionales) coordonneraient les éventuelles interventions sur le terrain justifiées par l'avis du groupe de référents ayant interprété les anomalies identifiées.

Une unité mobile d'intervention pourrait être constituée pour intervenir spécifiquement sur le terrain lorsque des anomalies de mortalité sont identifiées. Aujourd'hui les interventions d'épidémiologistes sur le terrain pour collecter des données sur un évènement sanitaire et les analyser se réalisent le plus souvent dans le cadre de demandes d'Expertise Scientifique et Technique (EST) émises par la DGAL et menées par l'Anses. L'intervention sur des alertes non spécifiques nécessitera l'élaboration de procédures particulières et la constitution d'une liste d'experts mobilisables (ex. pathologistes de l'espèce bovine) en cas d'alerte.

Les interventions sur le terrain pourraient dans certains cas être coordonnées par la mission des urgences sanitaires (MUS) de la DGAL. La MUS a pour mission d'assurer la gestion des alertes, urgences et crises sanitaires dans les domaines animal, végétal et alimentaire, conjointement avec les services de la direction générale et avec les autres services compétents de l'Etat, y compris déconcentrés. A ce titre elle coordonne la préparation des plans d'urgence génériques et veille à la cohérence des plans d'urgence spécifiques qui ressortissent aux bureaux techniques.

2.3.2.5 *Intervenants de terrain*

Les éleveurs sont les premiers observateurs des morts de bovins. Ce sont eux qui sont à l'origine des notifications et ont donc un rôle central dans le dispositif. Les vétérinaires sanitaires, les inspecteurs de la santé publique vétérinaire en charge de la réalisation des inspections et les équarrisseurs interviennent eux directement dans les exploitations et ont un contact régulier avec les éleveurs dans l'exercice habituel de leur activité. Ils peuvent constater des anomalies et en comprendre l'origine.

Ces acteurs sont des membres à part entière du réseau, dont l'implication doit être assurée et encouragée, notamment en les rendant destinataires de retours d'information. De plus la mise en place du dispositif, en rendant les échanges d'information réguliers faciliterait les notifications informelles d'anomalies et accélérerait la remontée d'information depuis le terrain jusqu'au niveau central.

2.4 Fonctionnement

2.4.1 Collecte, centralisation et validation des données

2.4.1.1 *Exploitation des bases existantes*

Le dispositif de surveillance envisagé se baserait sur les données déjà collectées et centralisées par les systèmes d'information existants. Avec leurs caractéristiques respectives (Tableau 33), les deux systèmes d'information (BDNI et EDI-SPAN) collectant des données sur la mortalité sont complémentaires et pourraient être utilisés de concert.

Les données de la BDNI semblent particulièrement bien adaptées pour l'établissement des rapports techniques annuels (rapports nationaux, départementaux et fiches d'information élevage). En revanche les données des fichiers des appels, malgré leur fiabilité moins importante, sont disponibles très rapidement et pourraient être utilisées pour la production de tableaux de bord et notifications d'alerte.

La coexistence de ces deux bases permettrait par ailleurs de confronter les déclarations de sortie pour cause de mort par les éleveurs et les déclarations d'enlèvements par les équarisseurs, et d'identifier ainsi des erreurs de déclaration, volontaires ou non.

Les deux bases de données sont la propriété du ministère en charge de l'Agriculture et sont gérées par le Bureau de la maîtrise d'œuvre des systèmes d'information (BMOSIA) de la DGAL. Les données collectées pourraient donc être exploitées dans le cadre du dispositif OMAR sans difficulté. Une charte, décrivant notamment les mesures relatives à la protection de la vie privée pourra encadrer l'exploitation des données et les usages qui peuvent en être fait.

2.4.1.2 *Evolution : collecte d'information sur les causes de mortalité*

Actuellement, ni les notifications de sortie pour mortalité renseignées par les éleveurs, ni les notifications de demande ou de réalisation d'enlèvements transmises par l'équarrissage ne comprennent d'informations relatives aux causes de mortalité. Pourtant ce type d'information pourrait améliorer les performances et l'intérêt d'un dispositif de surveillance de la mortalité.

Le suivi de la mortalité par cause serait susceptible d'améliorer la sensibilité de la détection d'anomalies. En effet, un événement sanitaire peut se caractériser par une modification de l'importance relative des causes de mort, sans que le niveau global de mortalité ne soit significativement modifié (la mortalité est compétitive). D'une manière générale, des informations sur les causes de mort auraient un grand intérêt d'un point de vue épidémiologique car elles permettraient de mieux comprendre les variations de mortalité observées et faciliteraient grandement l'interprétation des alarmes et leur investigation.

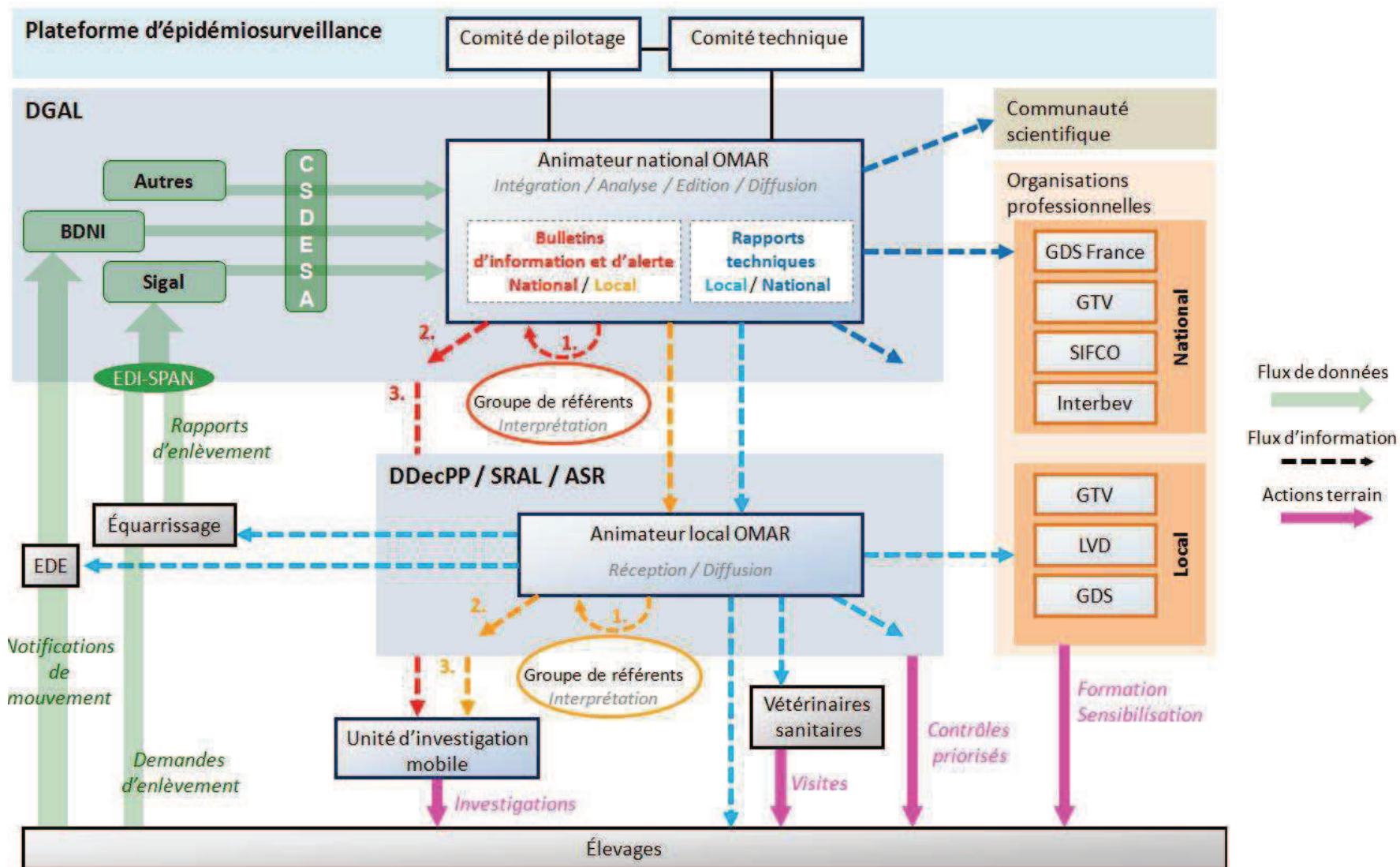


Figure 66 : Schéma organisationnel de l'Observatoire de la mortalité des animaux de rente

Un diagnostic proposé par un vétérinaire serait évidemment la manière la plus informative de qualifier une cause de mort. Toutefois, instaurer de manière pérenne et généralisée une consultation vétérinaire pour établir le diagnostic de la mort de chaque bovin n'est pas envisageable pour des raisons économiques et pratiques, même si certaines initiatives locales existent déjà (certains centres d'équarrissage ont mis en place des partenariats avec des organisations d'éleveurs et des vétérinaires afin de procéder aux autopsies sur leur site).

Des solutions alternatives doivent donc être explorées. Des modifications mineures du système actuel de notification pourraient par exemple permettre aux éleveurs d'indiquer eux-mêmes la cause supposée de mort, sur les notifications de sortie ou de demandes d'enlèvements.

Au cours des réunions tenues dans le cadre du projet de thèse, les professionnels de l'équarrissage nous ont fait part de leur intérêt pour les informations sur les causes de mortalité et ont déclaré être prêts à travailler sur un dispositif permettant aux éleveurs d'indiquer la cause supposée de la mort lors de la demande d'enlèvement. Les études que nous avons menées semblent indiquer que les éleveurs seraient de leur côté prêts à partager cette information. En effet, le taux de réponse à l'enquête sur la mortalité bovine, basée sur le volontariat, était très important. De plus, plusieurs éleveurs interrogés sur les bilans de mortalité dans leur exploitation ont spontanément déclaré que ces bilans seraient plus intéressants avec des informations sur les causes de mort, qu'ils seraient prêts à notifier.

Éleveurs, vétérinaires, équarrisseurs et services vétérinaires trouveraient chacun un bénéfice à cet évolution du système de notification : les éleveurs et/ou les vétérinaires seraient destinataires de bilans annuels faisant état de la mortalité dans les exploitations par cause de mort ; les équarrisseurs seraient informés lorsque les cadavres à enlever nécessitent des précautions particulières de manipulation (ex. en cas de suspicion de fièvre charbonneuse) ; les services vétérinaires auraient à disposition des informations supplémentaires pour assurer la surveillance épidémiologique du cheptel.

La principale limite d'un tel dispositif serait la qualité des informations notifiées, puisque les éleveurs n'ont pas toutes les connaissances et les outils pour explorer les causes d'une mort et élaborer formellement un diagnostic. L'enquête sur la mortalité bovine nous a montré que seuls 34% des bovins laitiers et 14% des bovins allaitants morts à plus de deux ans avaient fait l'objet d'une euthanasie par un vétérinaire, et qu'en cas de mort naturelle (sans euthanasie), le vétérinaire n'avait été informé que dans un cas sur deux de la mort du bovin, cette proportion variant selon la cause de mort. Dans le dispositif envisagé, la cause de mort serait donc souvent notifiée par l'éleveur lui-même, sans l'intervention du vétérinaire pour poser le diagnostic.

Les incohérences que nous avons relevées dans certaines causes rapportées par les éleveurs (ex. mort par paratuberculose chez de très jeunes bovins par exemple) rappellent les limites des déclarations à dire d'éleveurs, qui peuvent être peu précises voire tout à fait erronées, même si les incohérences apparaissent rares. Cependant notre étude des fiches d'information et de suivi de la mortalité a montré que même en ayant recours aux vétérinaires, nous sommes confrontés à des problèmes similaires. En effet, même dans cette étude, de nombreuses causes de mort correspondaient en fait à une description fruste du tableau clinique à la mort (ex. vache couchée), ou faisaient état de l'impossibilité d'établir un diagnostic. En effet, les fortes contraintes économiques en exploitation limitent le recours à

des examens complémentaires et l'élaboration d'un diagnostic, même avec l'intervention des vétérinaires.

Plusieurs exemples suggèrent toutefois que des informations sur les causes de mort même très simples pourraient avoir un grand intérêt pour la surveillance épidémiologique si elles étaient collectées de manière systématique. Nos travaux ont en effet montré qu'une grande proportion des causes de mortalité bovine n'est pas équivoque et ne nécessite pas de connaissances médicales pour être décrite. Par exemple, les morts suite au vêlage ou les morts par accident (chute, étranglement au cornadis) peuvent être constatées et notifiées par les éleveurs. Même la fréquence de morts dont la cause n'a pas été identifiée est une donnée informative, qui peut refléter l'apparition de nouvelles affections. Un autre exemple est celui de l'épizootie lié au virus de Schmollenberg. Si des informations sur les causes de mort des veaux avaient été collectées de manière systématique, il n'aurait pas été nécessaire de monter dans l'urgence un système de notification *ad hoc* de cette information pour suivre l'évolution de l'épizootie et sa gravité, comme cela a été le cas.

Si un tel dispositif venait à être mis en place, il faudrait toutefois être en mesure d'évaluer la qualité de l'information transmise. Une mention relative à la participation du vétérinaire sanitaire et au degré de certitude du diagnostic pourrait permettre d'évaluer la qualité des réponses et de les nuancer : par exemple 0 pour animal trouvé mort, 1 pour un animal mort après avoir exprimé des signes cliniques observés par l'éleveur ou le vétérinaire, 2 pour un animal mort suite à une maladie diagnostiquée voire traitée par le vétérinaire, 3 pour un animal vu accidenté, autopsié ou dont le cadavre a fait l'objet d'analyses de laboratoire.

Par ailleurs, des formations devront être envisagées pour standardiser au maximum la qualification des causes de mort. L'usage d'un système de classification tel que décrit dans le Chapitre 2 n'est pas envisageable, d'autant plus par des observateurs qui ne sont pas des professionnels de santé. En revanche il est possible de déterminer des règles simples de manière à ce que plusieurs éleveurs face à la même situation notifient une cause de mort similaire.

La première nécessité serait de définir ce qu'est une cause de mort et de faire connaître cette définition à toutes les personnes susceptibles de notifier cette information. Un choix devra être fait entre la cause initiale, à l'origine du processus morbide, et la cause immédiate de mort, qui le termine. Ainsi, face à un animal présentant des troubles nerveux (tremblements) qui le font glisser, se blesser et contracter une infection qui le conduira finalement à être euthanasié, chaque éleveur ou vétérinaire devrait savoir s'il doit notifier les symptômes nerveux, la glissade ou l'infection.

La solution utilisée lors de l'enquête mortalité auprès des éleveurs, combinant liste de choix fermés et un champ libre permettant aux observateurs d'ajouter des précisions semble un compromis satisfaisant entre une standardisation des réponses et collecte d'informations détaillées. La liste des causes de mort à proposer pourrait se baser sur nos travaux mais devrait être déterminée par un comité d'experts, réunissant professionnels (éleveurs, vétérinaires et équarrisseurs), scientifiques (pathologistes, épidémiologistes, zootechniciens) et représentant des services vétérinaires, afin qu'elle réponde au mieux aux attentes de chacun de ces acteurs.

2.4.2 Gestion et analyse des données

2.4.2.1 Niveau d'analyse

Nous avons détaillé précédemment la nature et les destinataires des différents documents que le dispositif pourrait produire. Les analyses seront donc à conduire principalement au niveau départemental, régional et national, c'est à dire les trois échelons auxquels il existe des possibilités d'intervention. En effet, le département correspond à la juridiction des DDecPP, la région à celle des SRAL (et des associations sanitaires régionales), tandis que les services de la DGAL sont en charge de la gestion sanitaire à l'échelle nationale.

Les ressources humaines sont généralement trop limitées dans ces organisations locales pour permettre le recrutement d'administrateurs de bases de données et de statisticiens. Les analyses pourraient donc être conduites par l'Unité centrale du dispositif puis transmises au niveau local. Dans ce cas, les méthodes d'analyses et les résultats proposés seront nécessairement similaires dans toutes les zones sous surveillance.

Toutefois, le niveau d'analyse adopté pourra évoluer en fonction des besoins et des évolutions du réseau français de surveillance de la santé animale.

2.4.2.2 Outils d'analyse

En sus des analyses descriptives qui permettraient notamment de produire les rapports techniques, des augmentations inhabituelles devraient être recherchées par des algorithmes de détection d'anomalies automatisés. Les résultats de cette recherche d'anomalie pourraient figurer dans les tableaux de bord hebdomadaires que nous proposons d'envoyer aux DDecPP.

Les séries temporelles de mortalité observées au niveau départemental, régional et national pourraient notamment être analysées à l'aide de modèles de régression de Poisson, comme dans nos études rétrospectives de la FCO, ou d'autres méthodes de détections d'anomalies temporelles présentées dans le Chapitre 1. Ces analyses temporelles pourraient être complétées par des recherches, dans chaque zone sous surveillance (département ou région), de regroupements d'unités spatiales présentant une augmentation inhabituelle de mortalité au regard de leur propre historique, à partir de la méthode que nous avons proposée dans le Chapitre 3.

Le Comité technique assurerait la veille scientifique et serait en charge de l'amélioration des techniques de détection d'anomalies en fonction des besoins et des avancées scientifiques.

2.4.2.3 De l'alarme statistique à l'alerte épidémiologique

La mortalité des animaux de rente est un indicateur influencé par de nombreux facteurs non biologiques (ex. des changements dans la réglementation, le cours du marché des produits animaux, etc.). Ces facteurs de variation doivent être pris en compte lors de l'interprétation des résultats de surveillance, qui constitue une étape critique dans un dispositif de surveillance de la mortalité. Une alarme statistique ne pourra en effet être transformée en véritable alerte épidémiologique qu'après une phase d'interprétation où l'existence d'une véritable dégradation sanitaire est validée.

Des groupes de référents, constitués d'épidémiologiste(s), de statisticien(s) et d'administrateur(s) des bases de données concernées devraient être mis en place au niveau

local et national. Ces groupes seraient récipiendaires des tableaux de bord lorsqu'une anomalie est identifiée et seraient chargés d'interpréter les données avant d'en permettre une diffusion plus large.

2.4.3 Diffusion des informations

L'animateur du réseau serait responsable de la diffusion des documents produits par le dispositif au niveau national, tandis que les correspondants locaux seraient en charge de la diffusion au niveau local.

2.4.3.1 Média et fréquence

Dans l'idéal, les acteurs impliqués dans la protection de la santé animale auraient un accès direct (mais contrôlé et limité) aux bases de données et pourraient l'interroger en fonction de leurs besoins. C'est d'ailleurs là l'objectif du Centre de service de données d'épidémiosurveillance en santé animale (CSD-ESA) actuellement en cours de développement dans le cadre de la plateforme d'épidémiosurveillance de la santé animale. Toutefois cette configuration nécessiterait un investissement important pour mettre en place la logistique sous-jacente.

Dans notre proposition, la diffusion de documents prédéfinis et formalisés permet de contrôler le flux d'information. Ces documents pourraient être envoyés par mail ou être mis à disposition pour téléchargement à partir d'un site internet dédié. Les données de mortalité sont des données qui peuvent être sensibles et leur publication peut nuire aux filières concernées. En conséquence, le niveau de confidentialité et les destinataires devraient être définis pour chaque document produit. Certains documents, comme les classements d'exploitation, auraient notamment vocation à n'être diffusés qu'au sein des services vétérinaires, tandis que d'autres, comme les rapports départementaux techniques pourraient être diffusés publiquement.

2.4.3.2 Automatisation

L'intérêt des tableaux de bord est de mettre très rapidement à disposition des destinataires les données de mortalité. Pour ce faire, l'analyse des données, l'édition des résultats et leur diffusion devraient être automatisés.

Nous avons mis en place au cours de la thèse un outil permettant de réaliser automatiquement ces tâches à partir des données collectées par l'EDI-SPAN. Depuis le 15 novembre 2010, le laboratoire de l'Anses-Lyon reçoit quotidiennement les fichiers des appels et les fichiers des tournées transmis par les équarrisseurs via l'EDI-SPAN via un site ftp.

Nous avons conçu un outil permettant de réaliser automatiquement et à heure fixe le téléchargement, la décompression et l'intégration des fichiers à une base de données hébergée sur un serveur MySQL, ainsi que l'analyse des données, la compilation des résultats dans des bulletins et la diffusion de ces derniers par mail.

Un planificateur de tâches gratuit a été utilisé afin de lancer automatiquement l'analyse des données dans le logiciel R selon un protocole d'analyse prédéfini. L'édition automatique des bulletins contenant les résultats d'analyse était réalisée à l'aide du package RODBC, qui permet d'insérer des sorties de R dans des modèles de documents OpenOffice. L'envoi des

bulletins par mail était réalisé à l'aide du planificateur de tâche, à partir d'une liste de diffusion prédéfinie.

Tous les outils employés sont des outils gratuits et aisément accessibles.

2.4.4 Animation

2.4.4.1 *Gestion quotidienne, gestion financière*

La gestion quotidienne du dispositif (production et diffusion des documents, organisation des réunions et comité, communication, etc.) serait assurée par l'animateur national du réseau et par les animateurs locaux. Les données, les bases de données et outils d'analyse étant déjà en place ou gratuits, les principaux coûts du réseau correspondront aux salaires de ces personnes. Le dispositif ne nécessiterait donc que des mises à disposition de personnes ainsi que des moyens leur permettant d'animer le réseau (déplacements, bureautique et reprographie).

2.4.4.2 *Suivi et évaluation*

Etant donnée la nature très innovante du dispositif, son évaluation serait particulièrement importante car peu de véritables évaluations ont été conduites à ce jour sur des dispositifs de surveillance syndromique.

L'évaluation d'un système de surveillance s'effectue en trois étapes : collecte de données, mesure d'indicateurs, jugement des valeurs par rapport à une référence. Les données relatives au fonctionnement du réseau (ex. nombre de bulletins publiés et diffusés, fréquence de diffusion, nombre de destinataires, etc.) pourraient être collectées à l'aide d'enquêtes auprès des utilisateurs du réseau, similaires à des enquêtes descriptives classiques. La collecte de données sur la qualité des informations produites et leur utilité pourrait être effectuée à l'aide d'un journal de bord tenu par les utilisateurs du réseau. Ce journal indiquerait toutes les anomalies identifiées par le système, l'interprétation qui leur a été donnée, la nature et le résultat des éventuelles investigations menées, et enfin un résultat (vraies / fausses alarmes). Au-delà de la mesure des performances de détection, qui n'est pas le seul usage du réseau, l'évaluation pourrait être menée en interrogeant les destinataires des différents documents sur l'usage et l'intérêt qu'ils ont eu du système pendant la période d'évaluation. A partir de ces données, des indicateurs représentatifs du niveau de réalisation des activités du réseau seraient calculés et leur valeur comparée à des valeurs de référence.

2.4.4.3 *Formation*

La mise en place du système ne nécessiterait pas d'importantes campagnes de formation. Les documents produits par le système peuvent être assez clairs et complets pour être compréhensibles sans information supplémentaire. Toutefois, si les causes de mort étaient incluses dans les informations collectées, une formation des vétérinaires et des éleveurs serait probablement nécessaire pour standardiser les réponses.

Par ailleurs, malgré les tentatives pour rendre les documents le plus compréhensible possible, il serait peut-être nécessaire de former certaines personnes ressources pour qu'elles soient en mesure d'expliquer le contenu des rapports et bulletins dont l'interprétation peut être complexe, et notamment la signification de certains indicateurs de

mortalité, ou les modalités de calcul d'excès de mortalité. Dans ce cas, la formation des éleveurs, des vétérinaires ou des équarrisseurs serait à la charge des organisations professionnelles (GDS France, GTV, SIFCO, etc.). La formation des agents des services vétérinaires locaux serait à la charge de l'administration.

2.4.5 Synergies avec les autres systèmes

2.4.5.1 *Autres systèmes de surveillance de la santé animale*

Le positionnement du dispositif au sein de la Plateforme favoriserait la mise en place de synergies avec d'autres réseaux de surveillance de la santé animale déjà fonctionnels en France. En effet, le comité de pilotage et le comité technique seraient composés de personnes déjà impliquées et actives dans d'autres réseaux de surveillance. Le dispositif pourrait être mobilisé pour produire des informations sur des problématiques spécifiques en fonction de l'actualité sanitaire, comme l'a montré l'exemple récent de l'émergence du virus de Schmallenberg, dont les conséquences sur la mortalité étaient inconnues et ont fait l'objet d'études mises en place spécifiquement pour répondre à cette question.

2.4.5.2 *Dispositifs de surveillance de la santé humaine*

Nous avons présenté l'intérêt d'établir des synergies entre les systèmes de surveillance de santé publique et ceux de santé animale (cf. Chapitre 1). L'exemple de la canicule illustre particulièrement bien l'intérêt que peuvent avoir les résultats de surveillance de la mortalité bovine pour la santé publique (cf. Chapitre 3).

Des synergies entre le dispositif OMAR et la composante mortalité du système de surveillance syndromique Sursaud®, mis en place par l'InVS, devraient donc être envisagées. Des points focaux pourraient par exemple être désignés dans les deux systèmes, à la fois au niveau central (entre les unités centrales des deux systèmes) et au niveau local (entre les unités locales des deux systèmes) pour jouer le rôle de contact privilégié entre les deux structures, et notamment être destinataires des documents produits par l'un et l'autre des systèmes. Des documents pourraient de plus être occasionnellement produits de manière conjointe par les deux systèmes pour mettre en perspective leurs résultats de surveillance respectifs. Enfin, l'InVS pourrait être associé au comité de pilotage du système OMAR pour favoriser la convergence des deux structures, ainsi qu'au comité technique, afin de mutualiser les connaissances et moyens en matière de détection d'anomalies et animation de réseau.

2.4.5.3 *Collaborations européennes*

Des collaborations européennes devraient par ailleurs être établies, d'une part pour que chaque partenaire puisse profiter de l'expérience des autres, tant au niveau technique et logistique, que d'un point de vue épidémiologique (animation du réseau de surveillance, gestion des alarmes, etc.). Par ailleurs, les données sur lesquelles se base le projet sont des données soumises à une réglementation européenne et qui en conséquence existent théoriquement à l'identique dans tous les états Membres de l'Union européenne. Une stratégie commune d'analyse des données de mortalité pourrait donc être élaborée, comme cela a été le cas en santé humaine dans le cadre du projet EuroMoMo, et peut-être dans l'avenir aboutir à un dispositif permettant de surveiller la mortalité à une échelle supranationale.

CONCLUSION

Les travaux que nous avons menés ont confirmé que les données actuellement collectées en routine par le ministère en charge de l'Agriculture pouvaient être exploitées pour surveiller activement la mortalité des bovins et éventuellement détecter par ce biais certaines menaces sanitaires émergentes.

Toutefois, l'expérience des dispositifs de surveillance de la mortalité, et plus généralement des dispositifs de surveillance syndromique, déjà mis en place en santé animale ou humaine montre que cet objectif initial de détection précoce a rarement été atteint dans les faits, malgré la disponibilité et la qualité des données utilisées. Si cette absence de succès probant est peut être plutôt attribuable à un manque d'opportunités qu'à un manque d'efficacité, il est indéniable que le caractère non spécifique des indicateurs de santé surveillés, à l'origine de l'intérêt particulier qu'on leur porte puisqu'il permet d'exercer une vigilance vis-à-vis d'un ensemble de maladies, rend extrêmement difficile l'analyse et l'interprétation de leurs fluctuations.

Les dispositifs de surveillance de la mortalité peuvent toutefois être utilisés à d'autres fins. Les épidémiologistes de santé humaine utilisent notamment les résultats de surveillance de la mortalité pour identifier des inégalités de santé, ou pour quantifier l'impact d'un événement sanitaire ou de mesures de prévention. Par ailleurs, l'expérience montre que l'instauration d'un flux d'information continu entre les structures de soins et des unités centrales d'épidémiologie permet de renforcer le réseau de acteurs et de le maintenir actif même en dehors des crises sanitaires, ce qui facilite leur mobilisation rapide en cas de nécessité. Ainsi les bénéfices des dispositifs de surveillance syndromique mis en place ont été bien réels même s'ils n'étaient pas ceux attendus initialement.

De même, le dispositif de surveillance de la mortalité des bovins dont nous avons évalué la pertinence et la faisabilité, même s'il ne permettait pas de détecter plus précocement certains événements sanitaires, pourrait toutefois permettre de mieux évaluer l'impact d'évènements en cours et passés, d'optimiser les contrôles officiels en élevage et plus généralement, d'améliorer le niveau sanitaire des élevages.

Comme l'a montré l'inventaire que nous avons réalisé, il existe à ce jour peu de dispositifs de surveillance de la mortalité aboutis et opérationnels en santé animale. Pourtant de nombreuses données sont désormais disponibles en France et en Europe permettant de construire des indicateurs sur la santé des animaux de production, et notamment sur la mortalité. La plupart des données que nous avons exploitées lors de cette thèse sont collectées dans le cadre de la législation européenne et sont à ce titre collectées de manière similaire et standardisée dans les autres Etats membres, ce qui pourrait d'ailleurs permettre dans le futur l'établissement d'un système européen de surveillance de la mortalité animale, comme cela a été fait en santé humaine.

Les immenses bases de données existantes, en théorie exhaustives, de qualité et parfois mises à jour quasiment en temps réel, ont été régulièrement exploitées pour mener des études épidémiologiques rétrospectives, mais elles n'ont pas encore servi de socle pour la mise en place de véritables dispositifs de surveillance, même si plusieurs projets sont actuellement à l'étude. L'implémentation de dispositifs de surveillance syndromique semble donc être principalement freinée, non pas par l'accès aux données ou leur qualité insuffisante, mais plutôt par la difficulté de concevoir des stratégies d'analyse performantes. En effet, quelles que soient les données disponibles, il est difficile de détecter des menaces inconnues, qui par définition se traduiront par des signaux dont la survenue, l'amplitude et la forme ne peuvent être prévus à l'avance. Notre travail a permis d'identifier certaines stratégies d'analyse potentiellement efficaces mais l'éventail des possibilités étant extrêmement large, des travaux supplémentaires semblent nécessaires pour définir la stratégie la plus adéquate. Les études rétrospectives et les simulations que nous avons réalisées sont informatives mais pourraient être avantageusement complétées par des évaluations prospectives de dispositifs pilotes véritablement opérationnels, dont les performances seraient estimées au fil de l'eau. Ce type d'évaluation pourrait apporter des éléments quantitatifs mais aussi qualitatifs sur l'intérêt de l'approche pour aider les services vétérinaires et les autres acteurs de la santé animale à accomplir leurs missions.

Nous avons limité notre étude à l'espèce bovine, parce que cette espèce est celle pour laquelle les données d'identification et de mouvements disponibles sont à ce jour les plus exhaustives et robustes. Des données similaires commencent toutefois à être collectées dans d'autres espèces. L'identification individuelle est en effet en cours de généralisation en Europe pour les espèces ovine et caprine. En parallèle de ces futurs registres nationaux d'identification, l'échange de données informatisé mis en place avec les centres d'équarrissage pourrait lui aussi être utilisé puisque les données collectées concernent toutes les espèces équarries.

Cependant, l'approche et les outils que nous avons proposés pour la surveillance de la mortalité bovine ne seront pas directement transposables aux autres espèces. En effet, les données collectées, l'organisation des filières et les déterminants de la mortalité diffèrent grandement d'une espèce à l'autre. Les données d'équarrissage relatives aux espèces de petit gabarit sont notamment souvent collectées de manière agrégée, ces cadavres n'étant pas ramassés individuellement mais par lots. Par ailleurs, dans les filières où la mortalité est importante, par exemple dans la filière porcine, l'équarrissage ne sollicite pas les demandes d'enlèvement des éleveurs mais organise des collectes régulières et systématiques dans les élevages. Même si des données identiques à celles enregistrées pour les bovins étaient disponibles, une étude préalable du niveau de référence de la mortalité de l'espèce ciblée resterait nécessaire puisque les dynamiques populationnelles et les fluctuations de la mortalité sont très différentes d'une espèce à une autre. Certaines espèces comme les porcs et les volailles sont notamment élevées en bande, une conduite d'élevage qui consiste à vider et à peupler puis à vider un bâtiment en une seule fois, ce qui permet de maintenir dans une série de compartiments des animaux dont le stade physiologique, l'âge et le poids sont similaires. Ces séquences varient de quelques semaines à quelques mois selon les productions. On imagine aisément les conséquences sur les fluctuations temporelles de la mortalité que peut avoir une telle structuration de la population à l'échelle de l'élevage mais aussi à des échelles plus agrégées. Mais si les différences évoquées nécessitent un travail préalable de description de la mortalité dans chaque filière et de ses déterminants, elles ne

remettent en revanche en aucun cas en cause l'intérêt de la surveillance de la mortalité dans d'autres espèces. Il semble d'autant plus pertinent de généraliser l'approche à d'autres espèces que leur sensibilité vis-à-vis de menaces sanitaires communes diffère et que chacune peut servir de sentinelle pour les autres.

Le dispositif de surveillance épidémiologique fondé sur l'analyse de données de mortalité que nous avons étudié doit être considéré comme un outil complémentaire des réseaux de surveillance traditionnels déjà en place basés sur l'expertise et la présence de praticiens sur le terrain. En effet, les systèmes de surveillance automatisés ne peuvent remplacer le maillage du territoire constitué par les spécialistes de la santé animale présents dans les élevages. Il faudra donc très certainement mener une réflexion visant à concevoir une surveillance sanitaire globale des populations fondée sur une complémentarité entre des modalités de surveillance syndromique et des modalités de surveillance ciblant des risques spécifiques.

Cette surveillance globale et intégrée reposerait sur quatre piliers fondamentaux : i) un réseau d'acteurs organisé, animé et compétent à plusieurs échelons, de l'éleveur et de son vétérinaire à l'institut de recherche, en passant par les échelons locaux d'appui en santé animale et de diagnostic de laboratoire (position prônée par l'OIE) ; ii) des modalités de surveillance programmées dédiées à des maladies spécifiques mises en œuvre par le réseau d'acteurs précité, sur la base des priorités définies par les gestionnaires et les évaluateurs du risque ; iii) des modalités de surveillance événementielle fondées sur des définitions de cas des maladies spécifiques de la filière considérée permettant la notification d'événements inhabituels ; iv) et enfin, des modalités de surveillance syndromique, dont on aura au préalable évalué la pertinence et le rapport coût-bénéfice, qui intégreront l'ensemble de la chaîne d'information depuis la détection d'un signal jusqu'à l'élucidation de sa cause en s'appuyant sur le même réseau d'acteurs.

L'ensemble de ces modalités de surveillance devra être coordonné, animé et piloté par une organisation institutionnelle chargée d'assurer la cohérence des actions menées et développer entre elles des synergies.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alton, G.D., Pearl, D.L., Bateman, K.G., McNab, W.B., Berke, O., 2010. Factors associated with whole carcass condemnation rates in provincially-inspected abattoirs in Ontario 2001-2007: implications for food animal syndromic surveillance. *BMC Vet Res* 6, 11.
- Arinero, L., 2011. Programa de Vigilància de la Mortalitat de les Explotacions Ramaderes (PROVIMER). In, Triple-S Veterinary Meeting, Paris, France.
- Aslam, S., 2009. Public Health & Emergency Preparedness Bulletin: # 2009:44; Reporting for the week ending 11/07/09 (MMWR Week #44). Office of Preparedness and Response, Maryland Department of Health and Mental Hygiene, Baltimore, USA, 8.
- Babin, S.M., 2003. Animal Bio-surveillance: presentation to the national park service interprogram response to zoonotic/environmentally transmitted diseases workshop In, Workshop - NPS Interprogram Response to Zoonotic/Environmentally Transmitted Diseases Public Health Program – Biological Resource Management Division.
- Babin, S.M., 2010. Using syndromic surveillance systems to detect pneumonic plague. *Epidemiol Infect* 138, 1-8.
- Bartels, C.J.M., Kock, P., Middeltesch, H., Wouda, W., van Wuijckhuise, L., van der Zwaag, H., 2006. Cattle health surveillance in the Netherlands: how to interpret anecdotal and census data. In, Proceedings of the 11th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, Cairns, Australia.
- Bayot, B., Sonnenholzner, S., Ochoa, X., Guerrerro, J., Vera, T., Calderon, J., De Blas, I., Del Pilar Cornejo-Grunauer, M., Stern, S., Ollevier, F., 2008. An online operational alert system for the early detection of shrimp epidemics at the regional level based on real-time production. *Aquaculture* 277, 164-173.
- Berezowski, J., 2008. Systèmes de surveillance des maladies : bénéfiques et défis pour les producteurs d'animaux de ferme. In, Congrès canadien, Quebec, Canada.
- Berglund, B., Steinbock, L., Elvander, M., 2003. Causes of stillbirth and time of death in Swedish Holstein calves examined post mortem. *Acta veterinaria Scandinavica* 44, 111-120.
- Bleul, U., 2011. Risk factors and rates of perinatal and postnatal mortality in cattle in Switzerland. *Livestock Science* 135, 257-264.
- Boissard, V., 2011. Etude de la mortalité bovine en France métropolitaine. Thèse d'exercice vétérinaire,. Université Claude Bernard Lyon 1 - Médecine Pharmacie, Lyon, 139.

- Boissard, V., Calavas, D., Arcangioli, M.A., Gay, E., Perrin, J.-B., 2011. De quoi meurent les bovins adultes ? *Nouveau Prat Vét* 4, 9-14.
- Bonjour, P., Gauffier, A., Perrin, J.-B., 2010. Animal mortality: a multipurpose source of information. The French experience. In: Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine-Inter-departmental subject scientific collection (Ed.), International Scientific Conference on Modern systems of bio-safety and bio-security in the veterinary medicine, Feodosia, Ukraine, 386.
- Bouyer, J., Hémon, D., Cordier, S., Derriennic, F., Stücker, I., Stengel, B., Clavel, J., 2004. *Epidémiologie : principes et méthodes quantitatives*. Les Editions Inserm Paris, France.
- Brillman, J.C., Burr, T., Forslund, D., Joyce, E., Picard, R., Umland, E., 2005. Modeling emergency department visit patterns for infectious disease complaints: results and application to disease surveillance. *BMC Med Inform Decis Mak* 5, 4.
- Brouwer, H., Hooijer, G.A., Straatsma, J.W., Stegeman, J.A., van Schaik, G., 2011. Validation of a cattle health monitor on routinely available data of specific dairy herds. In: AEEMA (Ed.), International Conference on Animal Health (ICAHS), Lyon, France, 207-209.
- Buckeridge, D.L., 2007. Outbreak detection through automated surveillance: a review of the determinants of detection. *J Biomed Inform* 40, 370-379.
- Buckeridge, D.L., Burkom, H., Campbell, M., Hogan, W.R., Moore, A.W., 2005. Algorithms for rapid outbreak detection: a research synthesis. *J Biomed Inform* 38, 99-113.
- Buckeridge, D.L., Okhmatovskaia, A., Tu, S., O'Connor, M., Nyulas, C., Musen, M.A., 2008. Understanding detection performance in public health surveillance: modeling aberrancy-detection algorithms. *J Am Med Inform Assoc*, 15, 760-769.
- Buehler, J.W., Berkelman, R.L., Hartley, D.M., Peters, C.J., 2003. Syndromic surveillance and bioterrorism-related epidemics. *Emerg Infect Dis* 9, 1197-1204.
- Buehler, J.W., Hopkins, R.S., Overhage, J.M., Sosin, D.M., Tong, V., 2004a. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks: recommendations from the CDC Working Group. *MMWR. Recommendations and reports : Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports / Centers for Disease Control* 53, 1-11.
- Buehler, J.W., Hopkins, R.S., Overhage, J.M., Sosin, D.M., Tong, V., 2004b. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks: recommendations from the CDC Working Group. *Morb Mortal Wkly Rep* 53, 1-11.
- Burkom, H.S., 2003. Development, Adaptation, and Assessment of Alerting Algorithms for Biosurveillance. *APL Technical Digest* 24, 335-342.
- Burr, T., Graves, T., Klamann, R., Michalak, S., Picard, R., Hengartner, N., 2006. Accounting for seasonal patterns in syndromic surveillance data for outbreak detection. *BMC Med Inform Decis Mak* 6, 40.
- Caillère, N., Fouillet, A., Henry, V., Vilain, P., Mathieu, A., Maire, B., 2012. Le système français de surveillance sanitaire des urgences et des décès (SurSauD). In: Institut de veille sanitaire (Ed.), Saint-Maurice, 12.

- Calavas, D., 1998. Ecopathologie des animaux d'élevage - principes, démarches, implications. Thèse d'université. Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, 169.
- Calavas, D., Perrin, J.-B., Dupuy, C., Ducrot, C., Savey, M., Hendriks, P., 2012. Quelle est la valeur ajoutée de la surveillance syndromique pour la détection de phénomènes pathologiques nouveaux? . In, Journées de l'AEEMA 2012, Maisons-Alfort, France.
- Caserio-Schönemann, C., Gailhard, I., Le Strat, Y., Le Goaster, C., Josseran, L., 2005. Intérêt de la surveillance de la mortalité dans une perspective d'alerte. B E H, 137-139.
- Castilla, J., Etxeberria, J., Ardanaz, E., Floristan, Y., Lopez Escudero, R., Guevara, M., 2010. Estimating the impact of the 2009 influenza A(H1N1) pandemic on mortality in the elderly in Navarre, Spain. Euro Surveill 15.
- Chardin-Libaud, V., 2003. Evaluation des dangers biologiques pour la santé du personnel technique du service public de l'équarrissage. Thèse d'exercice vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire de Nantes.
- Coroller, F., Balenghien, T., Zanella, G., Durand, B., Bouillet, C., Zientara, S., 2008. Premier Bilan de l'épizootie 2007 de FCO à sérotype 8, en France. Bull Group Tech Vet 45, 101-105.
- Crescio, M.I., Desiato, R., Ingravalle, F., Ru, G., 2011. Geographical atlas and temporal trends of all causes mortality in adult dairy cattle in Italy. In: AEEMA (Ed.), International Conference on Animal Health (ICAHS), Lyon, France, 207-209.
- Crescio, M.I., Forastiere, F., Maurella, C., Ingravalle, F., Ru, G., 2010. Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. Prev Vet Med 97, 191-197.
- Da Silva, O., Ferley, J.-P., 2012. Mortalité prématurée et mortalité prématurée évitable. In: ORS du Limousin (Ed.), Limoges, France, 5.
- Dal Pozzo, F., Saegerman, C., Thiry, E., 2009. Bovine infection with bluetongue virus with special emphasis on European serotype 8. Vet J 182, 142-151.
- Davies, P.R., Wayne, S.R., Torrison, J.L., Peele, B., De Groot, B.D., Wray, D., 2007. Real-time disease surveillance tools for the swine industry in Minnesota. Vet Ital 43, 731-738.
- De Groot, B., 2005. The Rapid Syndrome Validation Project for Animals - augmenting contact with the network of accredited veterinarians. National Animal Health Surveillance System Outlook
- Deschamps, J.-B., 2012. Pratiques d'élevage et qualité des viandes en filière bovine : Identification de facteurs de risque de saisie en abattoir et des informations à transmettre de l'abattoir à l'élevage en vue d'améliorer la gestion de l'état sanitaire des élevages et de leur production. Thèse d'exercice vétérinaire. Médecine - Pharmacie. Université Claude Bernard-Lyon I - Vetagrosup, Lyon.
- DGAL, 2009. Note de service : Présentation statistique des données enregistrées en BDNI pour 2008. In: DGAL/SDPPST/N2009-8152 (Ed.) Ministère de l'agriculture et de la pêche.
- Dufour, B., Hendriks, P., 2007. La surveillance épidémiologique en santé animale. Quae - Aeema Maisons-Alfort - Paris.

- Eidson, M., Schmit, K., Hagiwara, Y., Anand, M., Backenson, P.B., Gotham, I., Kramer, L., 2005. Dead crow density and West Nile virus monitoring, New York. *Emerg Infect Dis* 11, 1370-1375.
- Elbers, A.R., Backx, A., Meroc, E., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., Mintiens, K., 2008a. Field observations during the bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. I. Detection of first outbreaks and clinical signs in sheep and cattle in Belgium, France and the Netherlands. *Prev Vet Med* 87, 21-30.
- Elbers, A.R., Backx, A., Mintiens, K., Gerbier, G., Staubach, C., Hendrickx, G., van der Spek, A., 2008b. Field observations during the Bluetongue serotype 8 epidemic in 2006. II. Morbidity and mortality rate, case fatality and clinical recovery in sheep and cattle in the Netherlands. *Prev Vet Med* 87, 31-40.
- Elliot, A.J., Singh, N., Loveridge, P., Harcourt, S., Smith, S., Pnaiser, R., Kavanagh, K., Robertson, C., Ramsay, C.N., McMenemy, J., Kibble, A., Murray, V., Ibbotson, S., Catchpole, M., McCloskey, B., Smith, G.E., 2010. Syndromic surveillance to assess the potential public health impact of the Icelandic volcanic ash plume across the United Kingdom, April 2010. *Euro Surveill* 15.
- Esslemont, R.J., Kossaibati, M.A., 1997. Culling in 50 dairy herds in England. *Vet Rec* 140, 36-39.
- Etablissements Caillaud, 2003. Retour d'expérience sur la canicule: rapport sur l'exécution du service public d'équarrissage au mois d'août 2003. Rapport. 33.
- Farrington, C.P., Andrews, N.J., 2004. Statistical aspects of detecting infectious disease outbreaks. In: Brookmeyer, R.S., D. (Ed.), *Monitoring the Health of Populations: Statistical Principles and Methods*. Oxford University Press, 36.
- Farrington, C.P., Andrews, N.J., Beale, A.D., Catchpole, M.A., 1996. A statistical Algorithm for the Early Detection of outbreaks of infectious disease. *J Roy Stat Soc* 159, 547-563.
- Faye, B., Pérochon, L., 1995. La mortalité des vaches laitières dans l'enquête écopathologique Bretagne. *Vet Res* 26, 124-131.
- Fediaevsky, A., 2009. Etudes épidémiologiques de la tremblante atypique ovine. Thèse d'université. Université Blaise Pascal Clermont Ferrand, France, 332.
- Fouillet, A., Merlen, R., Rey, G., Cardoso, T., Caserio-Schönemann, C., 2012. Surveillance de la mortalité au cours de l'hiver 2011-2012 en France. *B E H* 33, 375-379.
- Fouillet, A., Rey, G., Jouglà, E., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Hémon, D., 2007. A predictive model relating daily fluctuations in summer temperatures and mortality rates. *BMC Public Health* 7.
- Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyaux, C., Clavel, J., Jouglà, E., Hémon, D., 2006. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int Arch Occup Environ Health* 80, 16-24.
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jouglà, E., Hémon, D., 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol*, 37, 309-317.

- Fouillet, A., Sala-Soler, M., Conti, S., Kanieff, M., Rago, G., Perrin, J.-B., Dupuy, C., Krafft, T., Ziemann, A., Viso, A.-C., 2011. Inventory of syndromic surveillance systems in Europe by the Triple-S project. In: *Emerg. Health Threat. J.* (Ed.), ISDS, Atlanta, USA.
- GAO, 2010. Efforts to Develop a National Biosurveillance Capability Need a National Strategy and a Designated Leader. In: United States Government Accountability Office (Ed.), *Report to Congressional Committees*, 139.
- Gardner, I.A., Hird, D.W., Utterback, W.W., Danaye-Elmi, C., Heron, B.R., Christiansen, K.H., Sischo, W.M., 1990. Mortality, Morbidity, Case-fatality, and Culling Rates for California Dairy Cattle as Evaluated by the National Animal Health Monitoring System, 1986-87. *Prev Vet Med* 8, 157-170.
- Gergonne, B., 2010. EuroMomo Work Package 7 report : A European algorithm for a common monitoring of mortality across Europe. European commission, 42.
- Glickman, L.T., Moore, G.E., Glickman, N.W., Caldanaro, R.J., Aucoin, D., Lewis, H.B., 2006. Purdue University-Banfield National Companion Animal Surveillance Program for emerging and zoonotic diseases. *Vector Borne Zoonotic Dis* 6, 14-23.
- Graunt, J., 1662. Natural and political observations mentioned in a following Index, and made upon the Bills of Mortality. Roycroft for John Martin James Allestry London.
- Gubernot, D.M., Boyer, B.L., Moses, M.S., 2008. Animals as early detectors of bioevents: veterinary tools and a framework for animal-human integrated zoonotic disease surveillance. *Public Health Rep* 123, 300-315.
- Gulliksen, S.M., Lie, K.I., Løken, T., Østerås, O., 2009. Calf mortality in Norwegian dairy herds. *J Dairy Sci* 92, 2782-2795.
- Gundelach, Y., Essmeyer, K., Teltscher, M.K., Hoedemaker, M., 2009. Risk factors for perinatal mortality in dairy cattle: cow and foetal factors, calving process. *Theriogenology* 71, 901-909.
- Harcourt, S.E., Smith, G.E., Elliot, A.J., Pebody, R., Charlett, A., Ibbotson, S., Regan, M., Hippisley-Cox, J., 2012. Use of a large general practice syndromic surveillance system to monitor the progress of the influenza A(H1N1) pandemic 2009 in the UK. *Epidemiol Infect*, 140, 100-105.
- Henning, K., 2004. Overview of Syndromic Surveillance. What is Syndromic Surveillance? *MMWR. Recommendations and reports : Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports / Centers for Disease Control* 53, 5-11.
- Hoinville, L., 2011. Animal Health Surveillance Terminology Final Report from Pre-ICAHS Workshop.
- Hoinville, L.J., Ellis-Iversen, J., Vink, D., Watson, E., Snow, L., Gibbens, J., 2009. Discussing the development and application of methods for effective surveillance in livestock populations. Pre-ISVEE surveillance workshop, Durban, South Africa.
- Hollecker, D., 2010. Etude sur l'informatisation des éleveurs de ruminants : rapport de synthèse. Collection Résultats CR 001078032, pp. 51.
- Hope, K., Durrheim, D., Tursan d'Espaignet, E., Dalton, C., 2006. Syndromic surveillance: is it a useful tool for local outbreak detection? *J Epidemiol Community Health* 60, 374-375.

- Hutwagner, L.C., Thompson, W.W., Seeman, G.M., Treadwell, T., 2005. A simulation model for assessing aberration detection methods used in public health surveillance for systems with limited baselines. *Stat Med* 24, 543-550.
- Institut de veille sanitaire, 2003. Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003. Rapport d'étape au 29 août 2003. In: Institut de veille sanitaire (Ed.), Saint-Maurice, 78.
- Ivanov, O., Gesteland, P.H., Hogan, W., Mundorff, M.B., Wagner, M.M., 2003. Detection of pediatric respiratory and gastrointestinal outbreaks from free-text chief complaints. *AMIA Annu Symp Proc*, 318-322.
- Jackson, M.L., Baer, A., Painter, I., Duchin, J., 2007. A simulation study comparing aberration detection algorithms for syndromic surveillance. *BMC Med Inform Decis Mak* 7, 6.
- Jegou, M., 2006. Mortalité des veaux d'élevage en Bretagne : facteurs de risque de mortalité dans 80 élevages bretons. In, *Rencontre Recherche Ruminants*, Paris.
- Johnson, H., Kovats, R.S., McGregor, G., Stedman, J., Gibbs, M., Walton, H., 2005. The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Euro Surveill* 10, 168-171.
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990-994.
- Josseran, L., Caillère, N., Goncalves, N., Ringard, D., Leroy, C., Fournet, N., Fouillet, A., Delmas, M.-C., Illef, D., 2010a. Surveillance syndromique dans le cadre de la pandémie grippale A (H1N1) 2009: intérêts et limites. *B E H* 24, 274-277.
- Josseran, L., Fouillet, A., Caillere, N., Brun-Ney, D., Illef, D., Brucker, G., Medeiros, H., Astagneau, P., 2010b. Assessment of a syndromic surveillance system based on morbidity data: results from the Oscour network during a heat wave. *PLoS One* 5, e11984.
- Josseran, L., Gailhard, I., Nicolau, J., Thélot, B., Donadieu, J., Brücker, G., 2005. Organisation expérimentale d'un nouveau système de veille sanitaire, France, 2004-2005. *B E H*, 134-137.
- Josseran, L., Nicolau, J., Caillere, N., Astagneau, P., Brucker, G., 2006. Syndromic surveillance based on emergency department activity and crude mortality: two examples. *Euro Surveill* 11, 225-229.
- Jougla, E., 1997. Statistic tests concerning population mortality indicators. *Rev Epidemiol Sante Publ.* 45, 78-84.
- Kahn, R.E., Clouser, D.F., Richt, J.A., 2009. Emerging infections: a tribute to the one medicine, one health concept. *Zoonoses and public health* 56, 407-428.
- Kanieff, M., Rago, G., Minelli, G., Lamagni, T., Sadicova, O., Selb, J., Vantarakis, A., Conti, S., 2010. The potential for a concerted system for the rapid monitoring of excess mortality throughout Europe. *Euro Surveill* 15.
- Kaufmann, A.F., Pesik, N.T., Meltzer, M.I., 2005. Syndromic surveillance in bioterrorist attacks. *Emerg Infect Dis* 11, 1487-1488.

- Kirkwood, A., Guenther, E., Fleischauer, A.T., Gunn, J., Hutwagner, L., Barry, M.A., 2007. Direct cost associated with the development and implementation of a local syndromic surveillance system. *Journal of public health management and practice* : JPHMP 13, 194-199.
- Klopp, C., 2001. Présentation du Système d'information de l'identification bovine. In: Institut de l'élevage (Ed.), 1-9.
- Kulldorff, M., 1997. A spatial scan statistic. *Theory Methods* 26, 1481-1496.
- Kulldorff, M., Athas, W.F., Feurer, E.J., Miller, B.A., Key, C.R., 1998. Evaluating cluster alarms: a space-time scan statistic and brain cancer in Los Alamos, New Mexico. *American journal of public health* 88, 1377-1380.
- Lazarus, R., Kleinman, K.P., Dashevsky, I., DeMaria, A., Platt, R., 2001. Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection. *BMC public health* 1, 9.
- Le Gal, M.C., Dufour, B., Geoffroy, E., Zanella, G., Moutou, F., Millemann, Y., Rieffel, J.N., Pouilly, F., 2008. Bluetongue virus serotype 8 in the Ardennes in 2007. *Vet Rec* 163, 668.
- Leblond, A., Valon, F., Hendriks, P., 2010. Epidémiologie des maladies vectorielles chez les équidés en France. *Bull Acad Vet Fr* 163, 149-157.
- Ludwig, A., Bigras-Poulin, M., Michel, P., Belanger, D., 2010. Risk factors associated with West Nile virus mortality in American Crow populations in Southern Quebec. *J Wildl Dis* 46, 195-208.
- Maciejewski, R., Glickman, N., Moore, G., Zheng, C., Tyner, B., Cleveland, W., Ebert, D., Glickman, L., 2008. Companion animals as sentinels for community exposure to industrial chemicals: the Fairburn, GA, propyl mercaptan case study. *Public Health Rep* 123, 333-342.
- Maciejewski, R., Jang, Y., Ebert, D.S., Cleveland, W.S., Ouzzani, M., Grannis, S.J., Glickman, L.T., 2007. LAHVA: Linked Animal-Human Health Visual Analytics. *Adv Dis Surveill* 4, 1.
- Manteca, C., 2007. L'entérototoxicité en élevage bovin. *Bulletin des GTV* 42, 29-24.
- Manuila, A., Manuila, L., Nicole, M., Lambert, H., 1972. Dictionnaire français de médecine et de biologie. Masson et Cie.
- Mazick, A., Gergonne, B., Nielsen, J., Wuillaume, F., Virtanen, M.-J., Fouillet, A., Uphoff, H., Sideroglou, T., Paldy, A., Oza, A., Nunes, B., Flores-Segovia, V.-M., Junker, C., McDonald, S.-A., Green, H.-K., Pebody, R., Molbak, K., 2012. Excess mortality among the elderly in 12 European countries, february and march 2012. *Euro Surveill* 17, 5.
- Mazick, A., Gergonne, B., Wuillaume, F., Danis, K., Vantarakis, A., Uphoff, H., Spiteri, G., van 't Klooster, T., Junker, C., Holmberg, M., Molbak, K., 2010. Higher all-cause mortality in children during autumn 2009 compared with the three previous years: pooled results from eight European countries. *Euro Surveill* 15.
- McConnel, C.S., Lombard, J.E., Wagner, B.A., Garry, F.B., 2008. Evaluation of Factors Associated with Increased Dairy Cow Mortality on United States Dairy Operations. *J Dairy Sci* 91, 1423-1432.

- McIntyre, L.H., Davies, P.R., Alexander, G., O' Leary, B.D., Morris, R.S., Perkins, N.R., Jackson, R., Poland, R., 2003. VetPAD - Veterinary practitioner aided disease surveillance system. In, Proceedings of the 10th international symposium on veterinary epidemiology and economics, Vina del Mar, Chile, 335.
- Mélard, G., 2008. Méthodes de prévision à court terme. Editions Ellipses.
- Menzies, F.D., Bryson, D.G., McCallion, T., Matthews, D.I., 1995. A study of mortality among suckler and dairy cows in Northern Ireland in 1992. *Vet Rec* 137, 531-536.
- Milian-Suazo, F., Erb, H.N., Smith, R.D., 1989. Risk factors for reason-specific culling. *Preventive Veterinary Medicine* 7, 19-29.
- Miller, B., Kassenborg, H., Dunsmuir, W., Griffith, J., Hadidi, M., Nordin, J.D., Danila, R., 2004. Syndromic surveillance for influenzalike illness in ambulatory care network. *Emerg Infect Dis* 10, 1806-1811.
- Ministère de l'Agriculture, 2005. Arrêté du 19 décembre 2005 relatif à l'identification des animaux des espèces ovine et caprine.
- Ministère de l'Agriculture, 2011. Arrêté du 16 juin 2011 pris en application de l'article D. 226-4 du code rural et de la pêche maritime.
- Ministère de l'Agriculture, 2012. Les états généraux du sanitaire. Plan d'action 2012. In: Direction générale de l'alimentation (Ed.).
- Ministère des affaires étrangères et européennes, 2011. Position française sur le concept "One health / Une seule santé". Direction générale de la mondialisation du développement et des partenariats, Document de travail stratégique.
- Mintiens, K., Litière, S., Faes, C., Houdart, P., Aerts, M., Vose, D., 2011. Feasibility of applying syndrome surveillance algorithms to animal health and production data to improve emerging animal disease surveillance. In: AEEMA (Ed.), International Conference on Animal Health (ICAHS), Lyon, France, 171-173.
- Moore, G.E., Ward, M.P., Dhariwal, J., Wu, C.C., Glickman, N.W., Lewis, H.B., Glickman, L.T., 2004. Development of a national companion animal syndromic surveillance system for bioterrorism. In, Second international conference on the applications of GIS and spatial analysis to veterinary science, Ontario, Canada, 9-11.
- Mounaix, B., 2009. F.C.O. : le bilan technico-économique de l'épizootie de 2007 à l'échelle des exploitations. *Nouveau Prat Vét* 3, 52-56.
- Mounaix, B., David, V., Lucbert, J., 2008. Synthèse des actions régionales d'évaluation de l'impact de la FCO en élevage bovin et ovin. Collection résultats. Institut de l'élevage 1-72.
- Nogueira, P.-J., Falcao, J.-M., Contreiras, M.-T., Paixao, E., Brandao, J., Batista, I., 2005. Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *Euro Surveill* 10.
- Observatoire régional de la Santé Poitou-Charentes, 2009. Atlas de la mortalité en Poitou-Charentes. Analyse cantonale des principales causes de décès.

- OMS, 2010. ICD-10. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th Revision. . In: WHO library cataloguing in Publication Data (Ed.), Malta.
- OQLF, 1999. Le grand dictionnaire terminologique (GDT). In: Office québécois de la langue française (Ed.), Montréal.
- Ortiz-Pelaez, A., Pritchard, D.G., Pfeiffer, D.U., Jones, E., Honeyman, P., Mawdsley, J.J., 2008. Calf mortality as a welfare indicator on British cattle farms. *Vet J* 176, 177-181.
- Parker, R.A., 1989. Analysis of surveillance data with Poisson regression: a case study. *Stat Med* 8, 285-294; discussion 331-282.
- Pavillon, G., Laurent, F., 2003. Certification et codification des causes médicales de décès. *B E H* 30-31, 134-138.
- Perrin, J.-B., 2010. Impact de la FCO sur la mortalité des bovins. In, Réunion d'information et d'échanges sur la restitution des résultats de la recherche opérationnelle FCO en France - Réseau Français pour la Santé Animale, Maisons-Alfort, France.
- Perrin, J.-B., Calavas, D., Ducrot, C., Hendriks, P., 2012. Surveillance de la mortalité des ruminants en France et en Europe. In, Journées de l'AEEMA 2012, Maisons-Alfort, France.
- Perrin, J.-B., Calavas, D., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Hendriks, P., 2010a. Mise en évidence d'excès de mortalité dans la population bovine française en 2007-2008. In, Journées de l'AEEMA 2010, Maisons-Alfort, France.
- Perrin, J.-B., Calavas, D., Hendriks, P., 2011a. Veterinary syndromic surveillance, foreseen link with human health surveillance. In, Triple-S Kick-off meeting, Luxembourg, Luxembourg.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Hendriks, P., Calavas, D., 2011b. Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009. *INRA Prod. Anim.* 24, 235-244.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Calavas, D., Hendriks, P., 2010b. Modélisation de la mortalité bovine en vue d'estimer l'impact de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine en France (2007-2009). *Epidemiol. et santé anim.* 57, 69-80.
- Perrin, J.-B., Ducrot, C., Vinard, J.-L., Morignat, E., Gauffier, A., Calavas, D., Hendriks, P., 2010c. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics* 2, 207-214.
- Perrin, J.-B., Dupuy, C., Fouillet, A., 2011. Synergies between animal and human syndromic surveillance. In, Triple-S France site visit, Paris, France.
- Perrin, J.-B., Dupuy, C., Hendriks, P., Calavas, D., 2011c. Syndromic surveillance systems in Europe. In, 3rd EU Surveillance network meeting, Bern, Suisse.
- Perrin, J.-B., Dupuy, C., Hendriks, P., Calavas, D., 2011d. The veterinary component of the Triple-S project. In, Triple-S Plenary meeting, Budapest, Hongrie.
- Perrin, J.-B., Mounaix, B., David, V., Vinard, J.-L., Morignat, E., Hendriks, P., Lucbert, J., Calavas, D., 2010d. Impact de la FCO-8 sur la mortalité des bovins en France en 2007. *Bull Epidemiol Afssa* 35, 20-22.

- Pouilly, F., Bosquet, G., Cachbach, S., Mayer, A., Pinard, A., 2008. L'impact de l'épizootie de FCO en 2007 dans les Ardennes d'après les données équarrissage et BDNI. *Bull Group Tech Vet* 46, 69-73.
- Radford, A., Tierney, A., Coyne, K.P., Gaskell, R.M., Noble, P.J., Dawson, S., Setzkorn, C., Jones, P.H., Buchan, I.E., Newton, J.R., Bryan, J.G., 2010. Developing a network for small animal disease surveillance. *Vet Rec* 167, 472-474.
- Reingold, A., 2003. If syndromic surveillance is the answer, what is the question? *Biosecur Bioterror* 1, 77-81.
- Reis, B.Y., Mandl, K.D., 2003. Time series modeling for syndromic surveillance. *BMC Med Inform Decis Mak* 3, 2.
- Reis, B.Y., Pagano, M., Mandl, K.D., 2003. Using temporal context to improve biosurveillance. *PNAS* 100, 1961-1965.
- Rey, G., Jouglu, E., 2011. Le concept de mortalité "évitable" : historique et usage. In: SFSP (Ed.), *Les expertises en santé publique*, Lille, France.
- Rican, S., Jouglu, E., Salem, G., 2003. Inégalités socio-spatiales de mortalité en France. *B E H* 30-31, 142-145.
- Rouquet, P., Froment, J.M., Bermejo, M., Kilbourn, A., Karesh, W., Reed, P., Kumulungui, B., Yaba, P., Delicat, A., Rollin, P.E., Leroy, E.M., 2005. Wild animal mortality monitoring and human Ebola outbreaks, Gabon and Republic of Congo, 2001-2003. *Emerg Infect Dis* 11, 283-290.
- Ruoho, O., Kortensniemi, P., Halkosaari, P., 2010. Transferring data from farm to slaughterhouse "on-line" via centralized register. XXVI World Buiatrics Congress. Santiago, Chili.
- Salem, G., Rican, S., Jouglu, E., 1999. Atlas de la santé en France. Volume 1 - Les causes de décès.
- Schelcher, F., Cabanié, P., 2002. Principales causes de mort subites des bovins. *Point vétérinaire*, 1-7.
- Serfling, R.E., 1963. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Public Health Rep* 78, 494-506.
- Shaffer, L., 2007a. Prospective Outbreak Detection in Pets as a Sentinel Indicator for Outbreaks in Humans. *Advances in Disease Surveillance* 4, 192.
- Shaffer, L., 2007b. Using pre-diagnostic data from veterinary laboratories to detect disease outbreaks in companion animals. PhD Thesis. Veterinary preventive medicine Department. Ohio State University, Ohio.
- Shepard, R.W., 2006. The development of a syndromic surveillance system for the extensive beef cattle producing regions of Australia. Faculty of veterinary science University of Sydney, Sydney, Australia, 253.
- Shepard, R.W., Toribio, J.A., Cameron, A.R., Thomson, P., Baldock, F.C., 2006. Incorporating the bovine syndromic surveillance system (BOSSS) within an animal health surveillance network. In, *Proceedings of the 11th International symposium on veterinary epidemiology and economics*, Cairns, Australia.

- SIFCO, 2008. Syndicat des industries françaises des coproduits animaux. Organisation et financement de l'équarrissage dans 6 pays de l'Union Européenne. Les principaux repères., Paris, 4.
- Smith, J.W., Ely, L.O., Chapa, A.M., 2000. Effect of region, herd size, and milk production on reasons cows leave the herd. *J Dairy Sci* 83, 2980-2987.
- Sonesson, C., Bock, D., 2003. A review and discussion of prospective statistical surveillance in public health. *J Roy Stat Soc* 166, 5-21.
- Sosin, D.M., DeThomasis, J., 2004. Evaluation challenges for syndromic surveillance--making incremental progress. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 53 Suppl, 125-129.
- Stull, C.L., Messam, L.L.M.V., Collar, C.A., Peterson, N.G., Castillo, A.R., Reed, B.A., Andersen, K.L., VerBoort, W.R., 2008. Precipitation and temperature effects on mortality and lactation parameters of dairy cattle in California. *J Dairy Sci* 91, 4579-4591.
- Svensson, C., Linder, A., Olsson, S.O., 2006. Mortality in Swedish Dairy Calves and Replacement Heifers. *J Dairy Sci* 89, 4769-4777.
- Szmaragd, C., Wilson, A., Carpenter, S., Mertens, P.P., Mellor, P.S., Gubbins, S., 2007. Mortality and case fatality during the recurrence of BTV-8 in northern Europe in 2007. *Vet Rec* 161, 571-572.
- Szücs, E., Gulyas, L., Ciszter, L.T., Demirkan, I., 2009. Stillbirth in dairy cattle : review *Lucrari stiintifice Zootehnie si Biotehnologii* 42, 622-636.
- Taylor, L.H., Latham, S.M., Woolhouse, M.E., 2001. Risk factors for human disease emergence. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 356, 983-989.
- Thiry, E., Saegerman, C., Guyot, H., Kirten, P., Losson, B., Rollin, F., Bodmer, M., Czaplicki, G., Toussaint, J.F., De Clercq, K., Dochy, J.M., Dufey, J., Gillemann, J.L., Messemann, K., 2006. Bluetongue in northern Europe. *Vet Rec* 159, 327.
- Thomsen, P.T., Kjeldsen, A.M., Sorensen, J.T., Houe, H., 2004. Mortality (including euthanasia) among Danish dairy cows (1990-2001). *Prev Vet Med* 62, 19-33.
- Thomsen, P.T., Sorensen, J.T., 2009. Factors affecting the risk of euthanasia for cows in Danish dairy herds. *Vet Rec* 165, 43-45.
- Torsein, M., Lindberg, A., Sandgren, C.H., Waller, K.P., Törnquist, M., Svensson, C., 2011. Risk factors for calf mortality in large Swedish dairy herds. *Prev Vet Med In Press*, Corrected Proof.
- Toussaint, J.F., Sailleau, C., Mast, J., Houdart, P., Czaplicki, G., Demeestere, L., VandenBussche, F., van Dessel, W., Goris, N., Breard, E., Bounaadja, L., Etienne, T., Zientara, S., De Clercq, K., 2007. Bluetongue in Belgium, 2006. *Emerg Infect Dis* 13, 614-616.
- Triple-S project, 2010. Syndromic surveillance in Europe <http://syndromicsurveillance.eu/systems-in-europe>.
- TripleS project, 2011. Assessment of syndromic surveillance in Europe. *The Lancet* 378, 1833-1834.

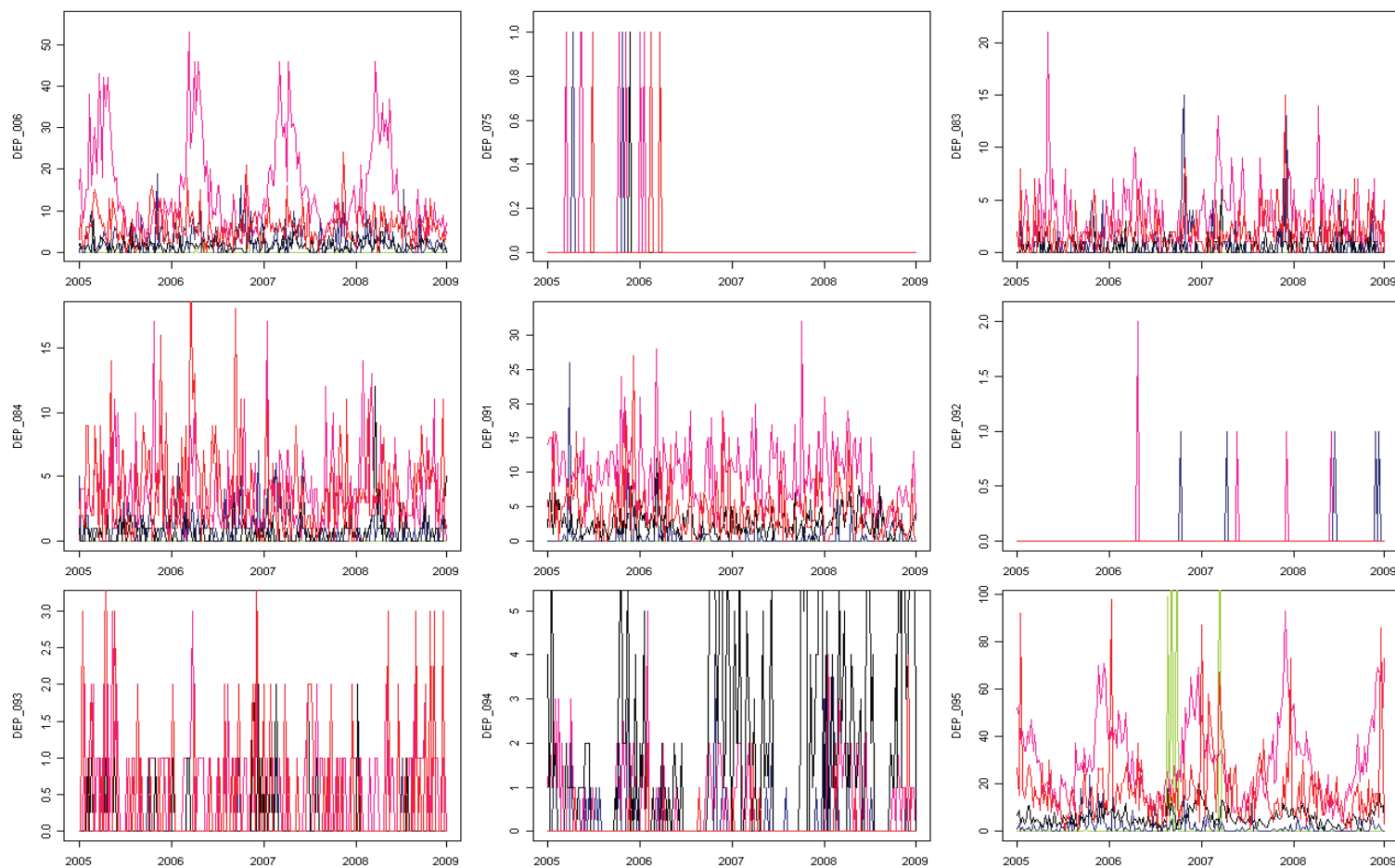
- Union européenne, 1997. Directive 97/12/CE du Conseil du 17 mars 1997 portant modification et mise à jour de la directive 64/432/CEE relative à des problèmes de police sanitaire en matière d'échanges intracommunautaires d'animaux des espèces bovine et porcine
- Union européenne, 2000. Règlement CE n° 1760/2000 du Parlement européen et du conseil du 17 juillet 2000 établissant un système d'identification et d'enregistrement des bovins et concernant l'étiquetage de la viande bovine et des produits à base de viande bovine et abrogeant le règlement (CE) n° 820/97 du Conseil.
- Union Européenne, 2002. Statistiques de la santé. Atlas de la mortalité dans l'Union européenne. Eurostat.
- Union européenne, 2009. Règlement (CE) n o 1069/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) n o 1774/2002 (règlement relatif aux sous-produits animaux).
- USDA, 2010. Mortality of calves and cattle on U.S. beef cow-calf operations. APHIS Info sheet. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service.
- Valleron, A.-J., 2011. Brève histoire de l'épidémiologie avant le XXe siècle. La jaune et la rouge. 8-13.
- van den Wijngaard, C.C., Dijkstra, F., van Pelt, W., van Asten, L., Kretzschmar, M., Schimmer, B., Nagelkerke, N.J., Vellema, P., Donker, G.A., Koopmans, M.P., 2011. In search of hidden Q-fever outbreaks: linking syndromic hospital clusters to infected goat farms. *Epidemiology and infection* 139, 19-26.
- Van Metre, D., Hill, A.F., Salman, M.D., Morley, P.S., 2009. Livestock disease surveillance at auction markets. *National Animal Health Surveillance System Outlook* 5.
- Vourc'h, G., Bridges, V.E., Gibbens, J., De Groot, B.D., McIntyre, L., Poland, R., Barnouin, J., 2006. Detecting emerging diseases in farm animals through clinical observations. *Emerg Infect Dis* 12, 204-210.
- Waldner, C.L., Kennedy, R.I., Rosengren, L., Clark, E.G., 2009. A field study of culling and mortality in beef cows from western Canada. *Can Vet J* 50, 491-499.
- Waldner, C.L., Kennedy, R.I., Rosengren, L., Pollock, C.M., Clark, E.G., 2010. Gross postmortem and histologic examination findings from abortion losses and calf mortalities in western Canadian beef herds. *Canadian Veterinary Journal* 51, 1227-1238.
- Wang, L., Ramoni, M.F., Mandl, K.D., Sebastiani, P., 2005. Factors affecting automated syndromic surveillance. *Artif Intell Med* 34, 269-278.
- Ward, M.R., Stallknecht, D.E., Willis, J., Conroy, M.J., Davidson, W.R., 2006. Wild bird mortality and West Nile virus surveillance: biases associated with detection, reporting, and carcass persistence. *J Wildl Dis* 42, 92-106.

- Watier, L., 1995. Revue méthodologique de quelques techniques spécifiques à l'analyse des séries temporelles en épidémiologie et santé publique. *Rev Epidemiol Sante Publ* 43, 162-172.
- Watier, L., Richardson, S., Hubert, B., 1991. A time series construction of an alert threshold with application to *S. bovis* morbillifans in France. *Stat Med* 10, 1493-1509.
- Watkins, R.E., Eagleson, S., Hall, R.G., Dailey, L., Plant, A.J., 2006. Approaches to the evaluation of outbreak detection methods. *BMC Public Health* 6, 263.
- Watson, W.A., Litovitz, T.L., Belson, M.G., Wolkin, A.B., Patel, M., Schier, J.G., Reid, N.E., Kilbourne, E., Rubin, C., 2005. The Toxic Exposure Surveillance System (TESS): risk assessment and real-time toxicovigilance across United States poison centers. *Toxicol Appl Pharmacol* 207, 604-610.
- Weber, W., 2009. Development of an Animal Health Monitoring System based on Slaughter Condemnation Data. In, International Society for Disease Surveillance, Miami, Florida.
- Williamson, G.D., Hudson, G.W., 1999. A monitoring system for detecting aberrations in public health surveillance reports. *Stat Med* 18, 3283-3298.
- Zhang, J., Calvo, R., Shepard, R., Jin, C., 2007. Detecting diseases in farm animals with embedded system. In, Proceedings of the International conference on computer engineering and Applications, Gold coast, Australia, 52-56.
- Zhang, Y., Dang, Y., Chen, H., Thurmond, M., Larson, C., 2009. Automatic online news monitoring and classification for syndromic surveillance. *Decision Support Systems* 47, 508-517.
- Zurbrig, K., 2009. Do submissions to a veterinary diagnostic laboratory accurately reflect livestock disease incidence or prevalence? In, ISDS, Miami, Florida.

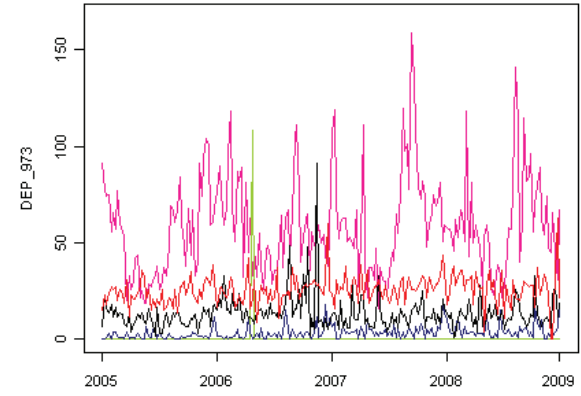
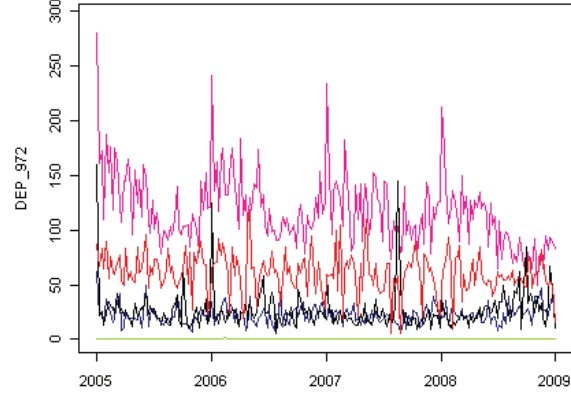
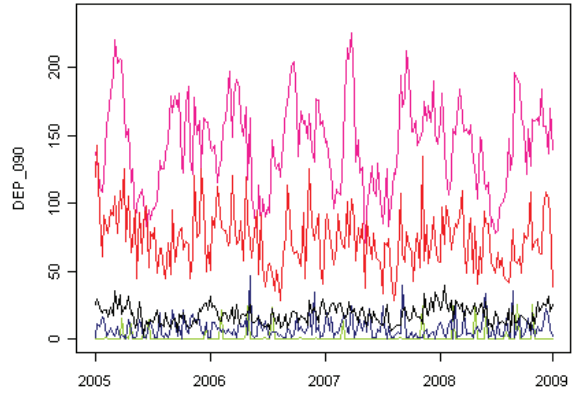
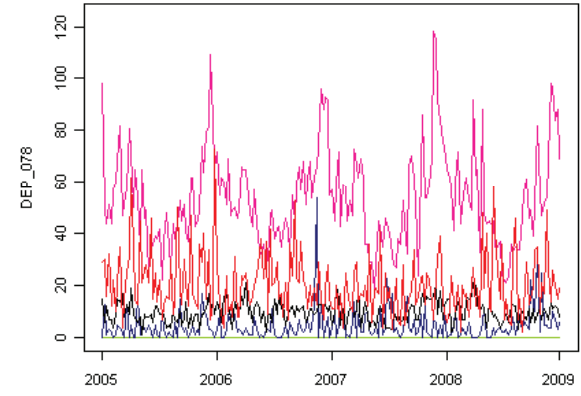
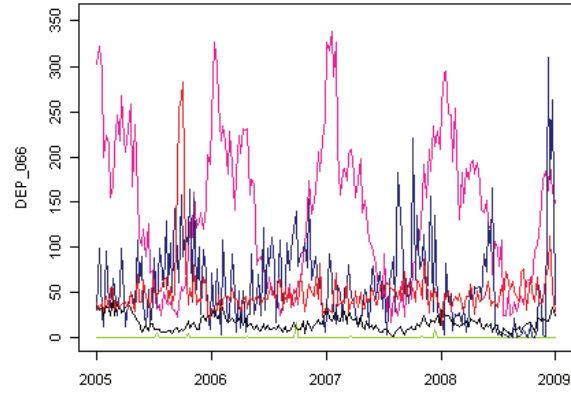
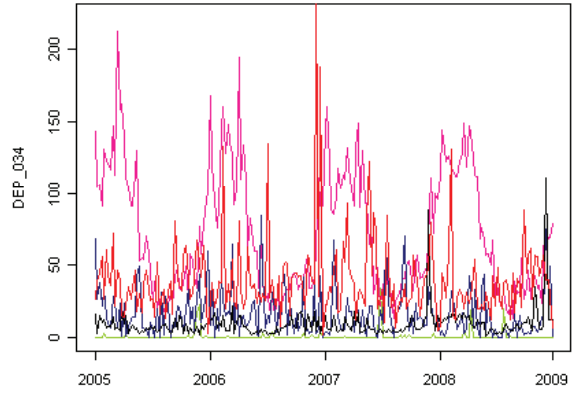
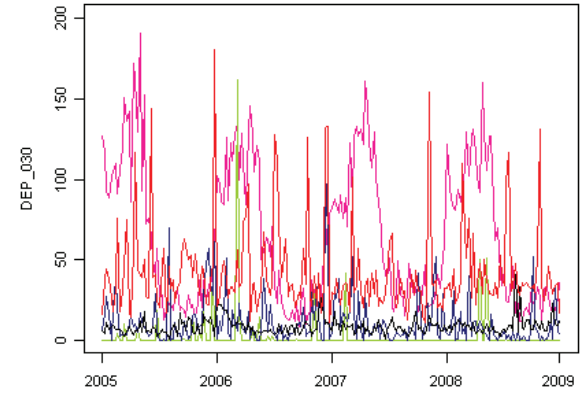
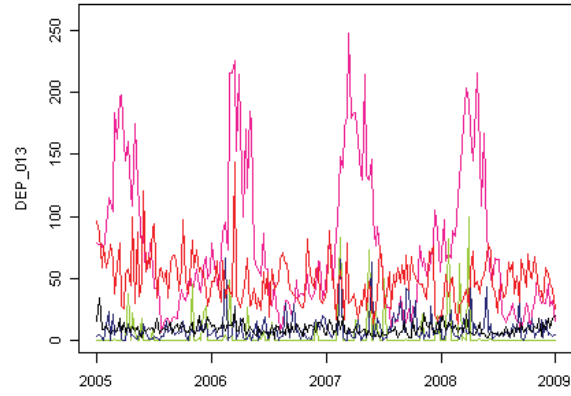
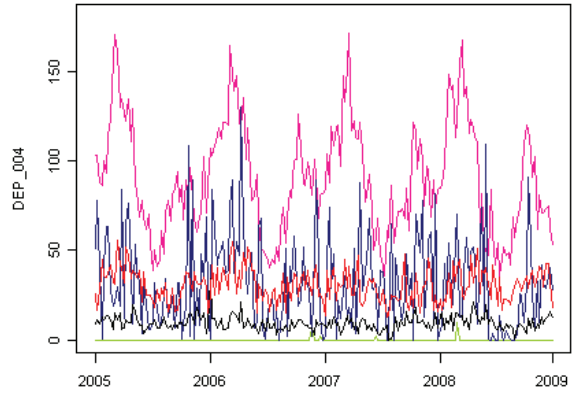
ANNEXES

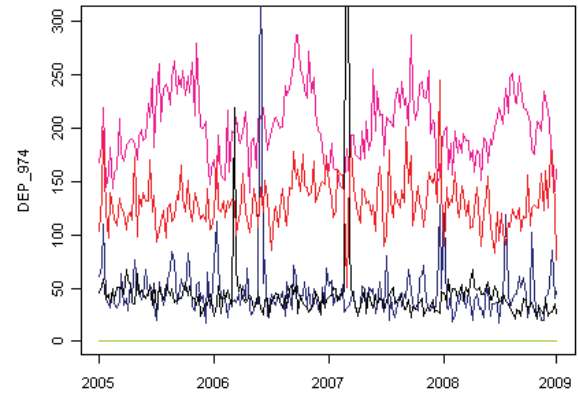
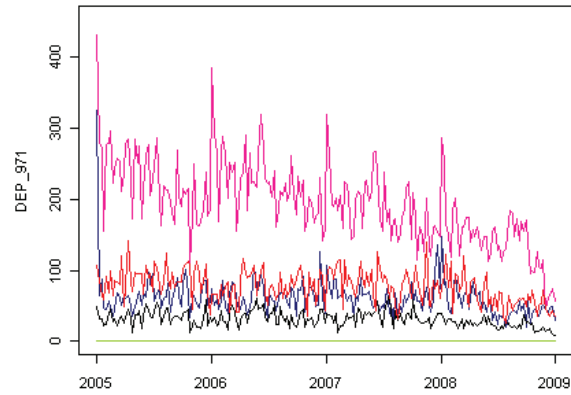
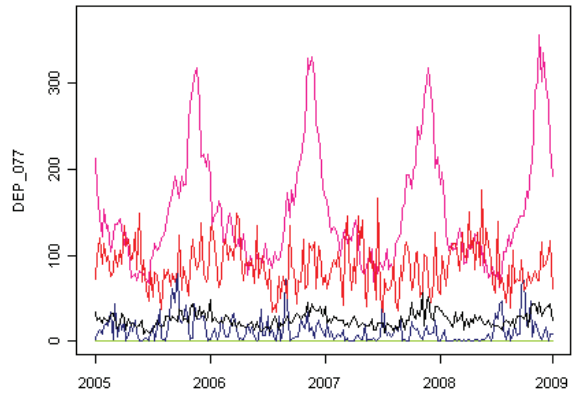
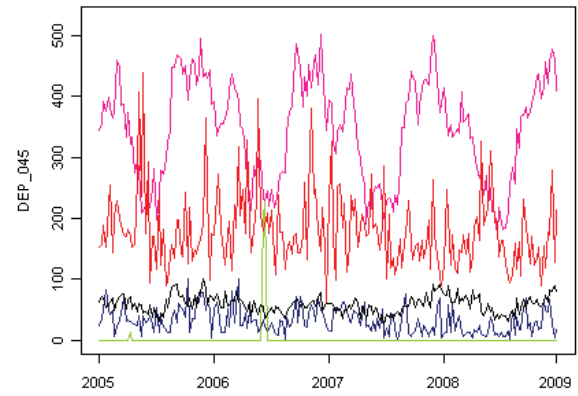
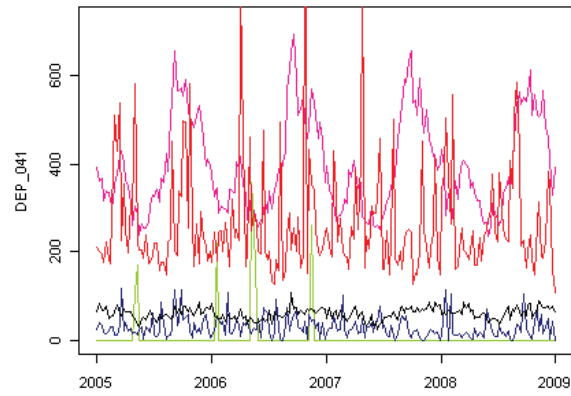
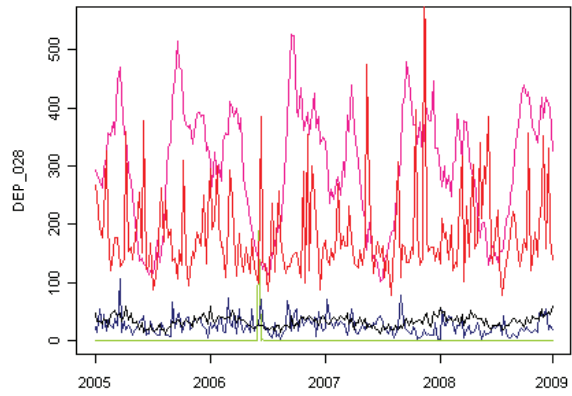
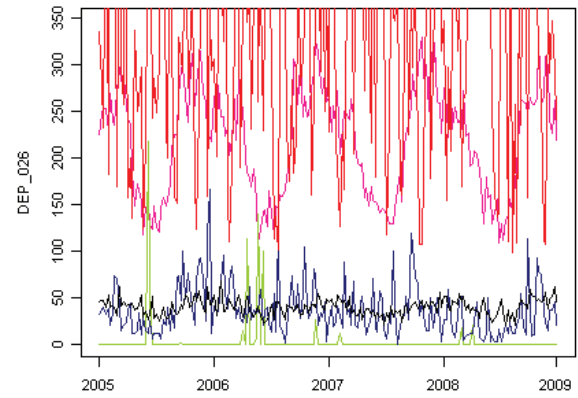
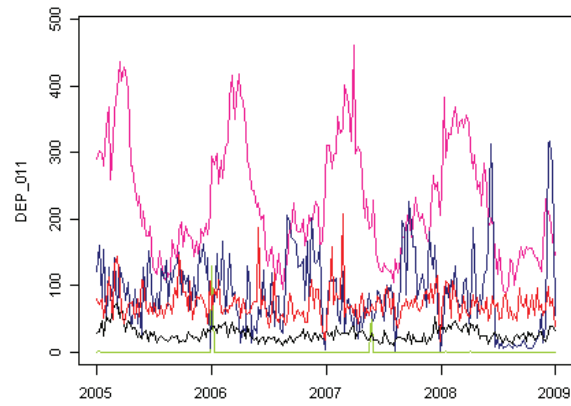
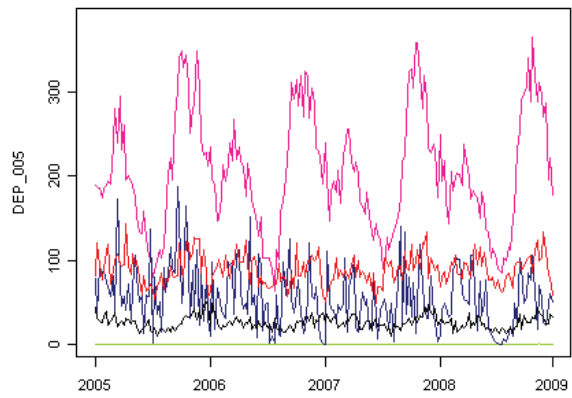
Annexe I : Nombre hebdomadaire de mouvements par département entre le 01/01/2005 et le 31/12/2008

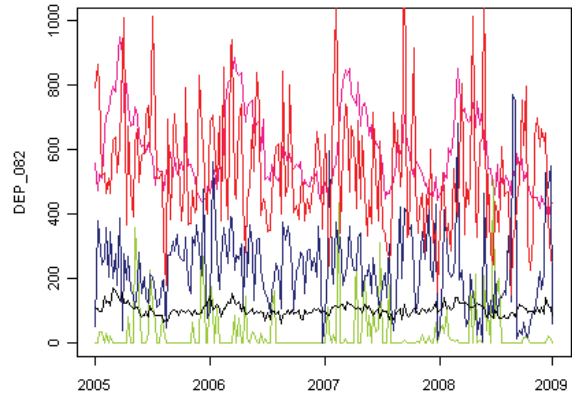
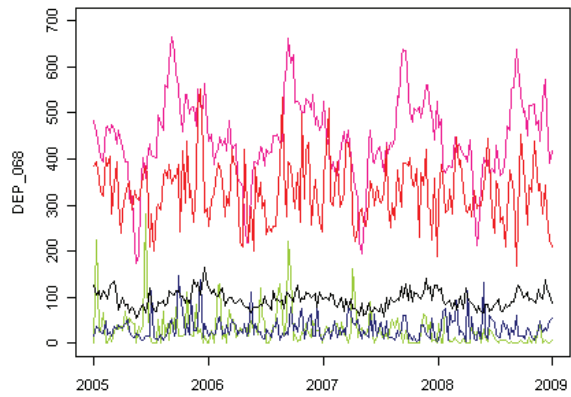
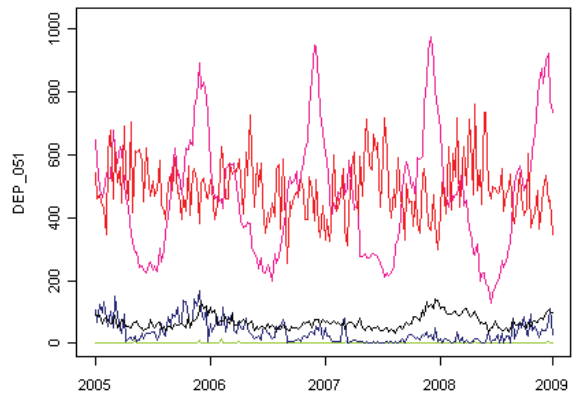
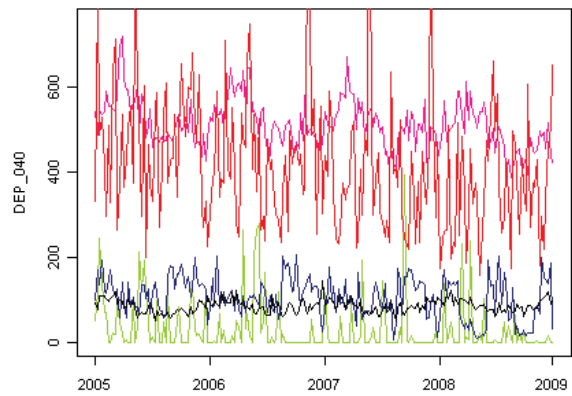
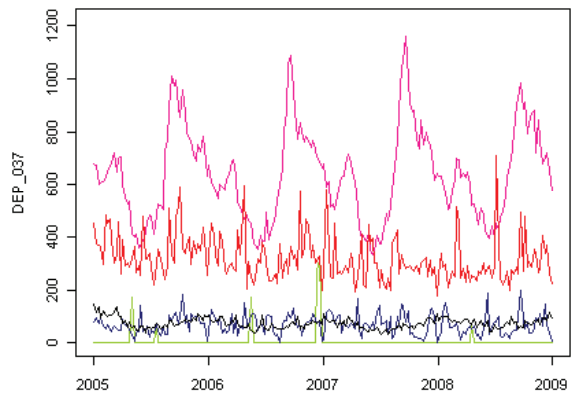
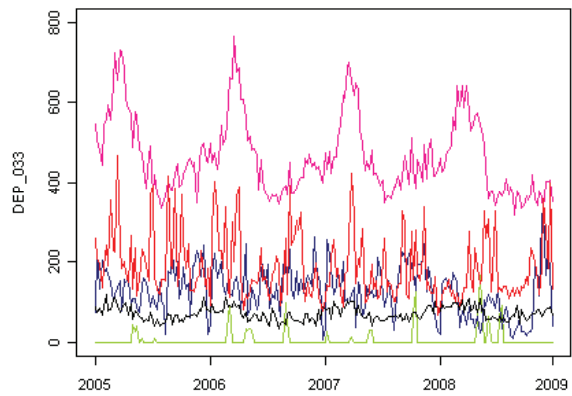
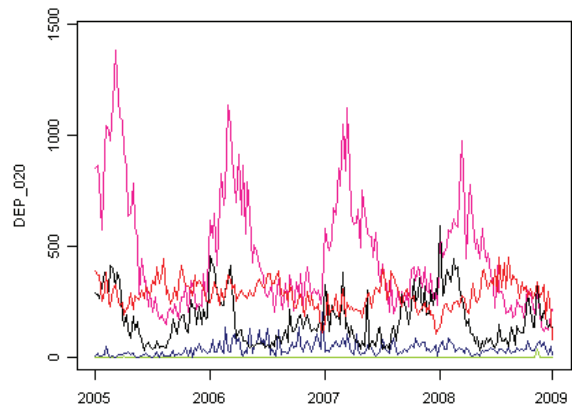
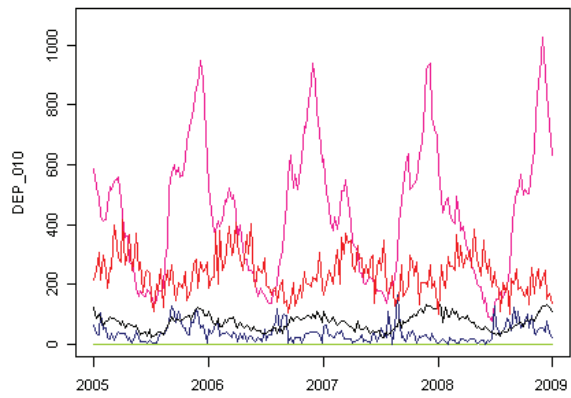
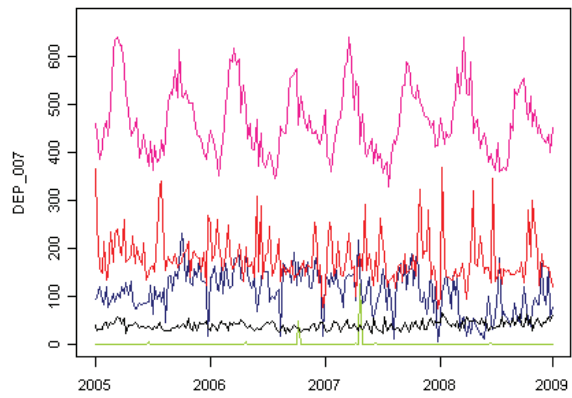
Nombre hebdomadaire d'entrées « Naissance » (rose), de sorties 'Boucherie' (rouge), de sorties 'Mortalité' (noir), d'importations* (vert) et d'exportations* (bleu) notifiées à la BDNI par département (tri des départements par ordre croissant de population)

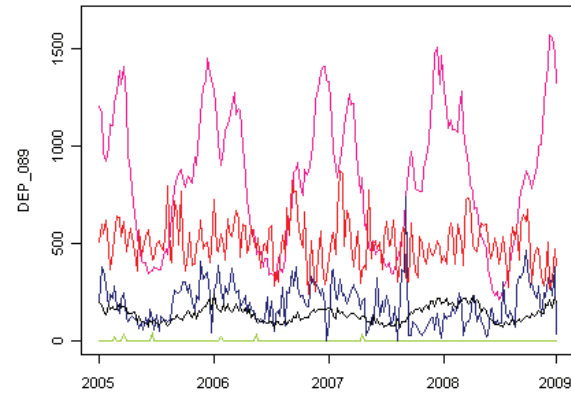
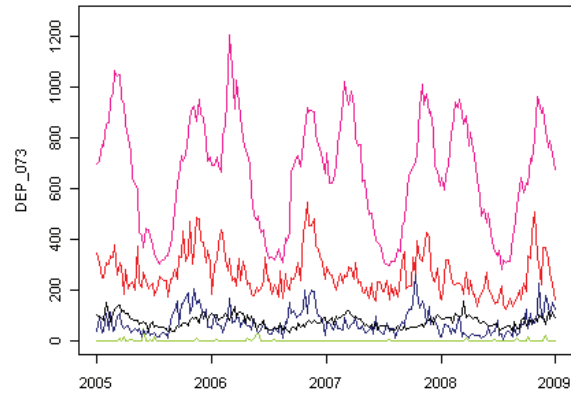
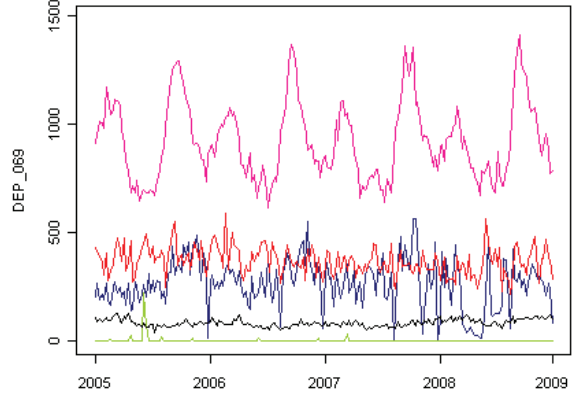
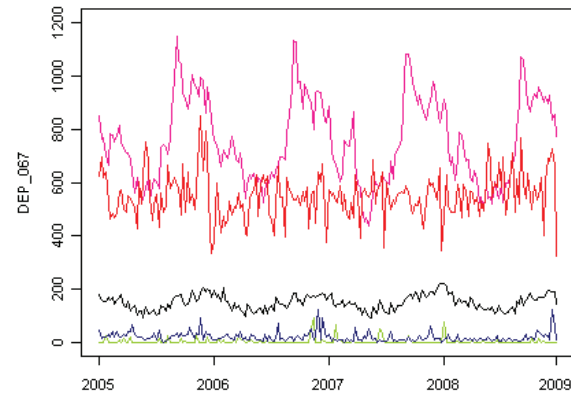
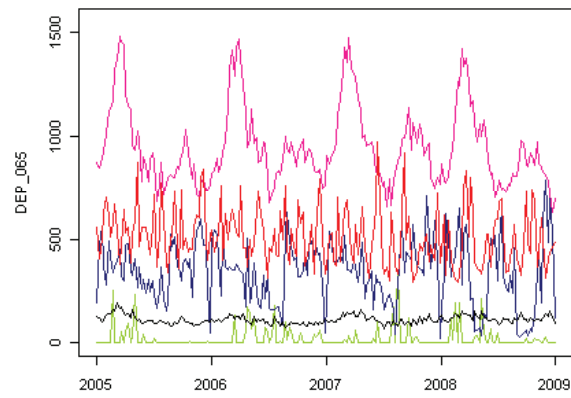
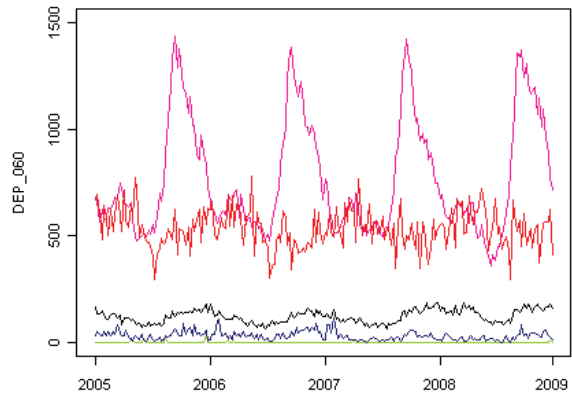
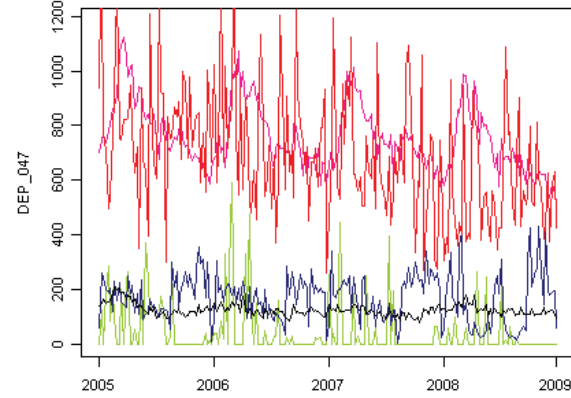
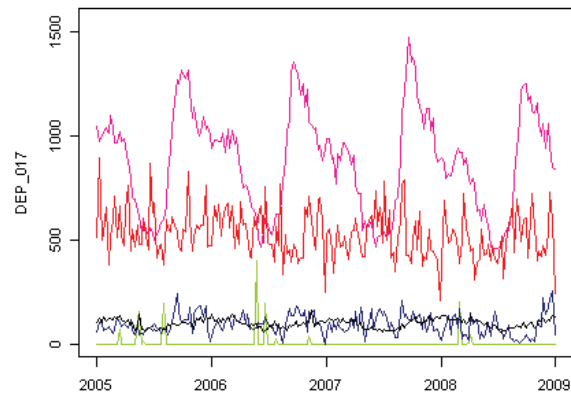
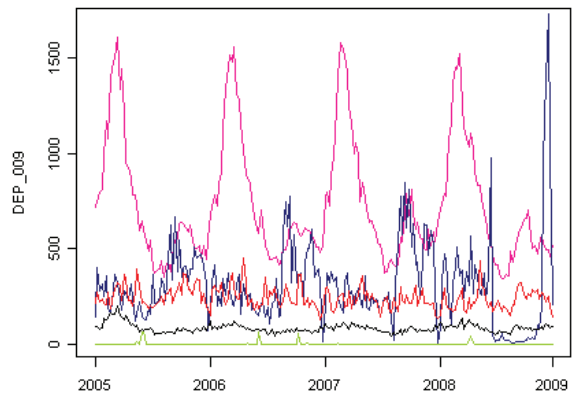


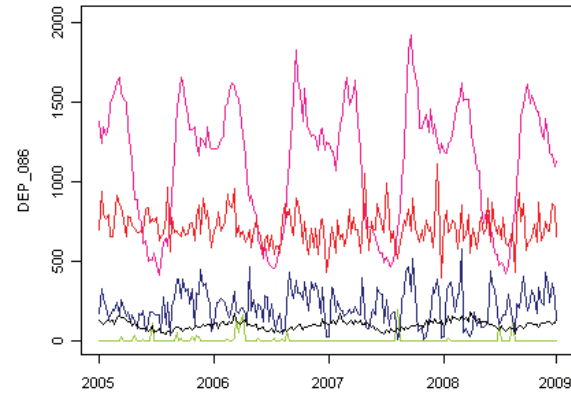
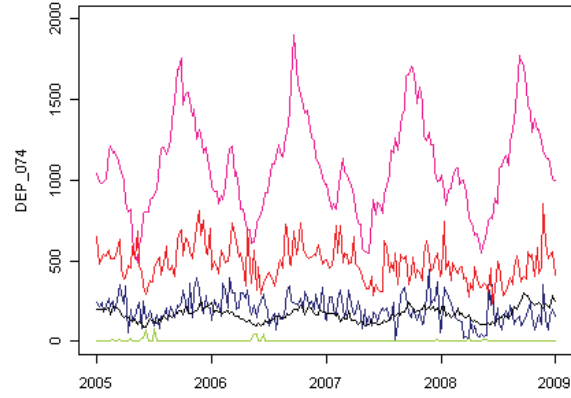
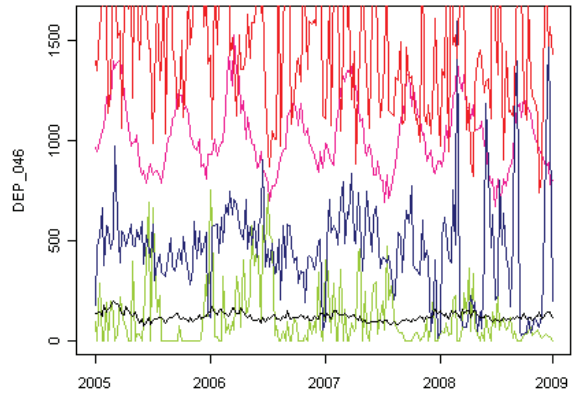
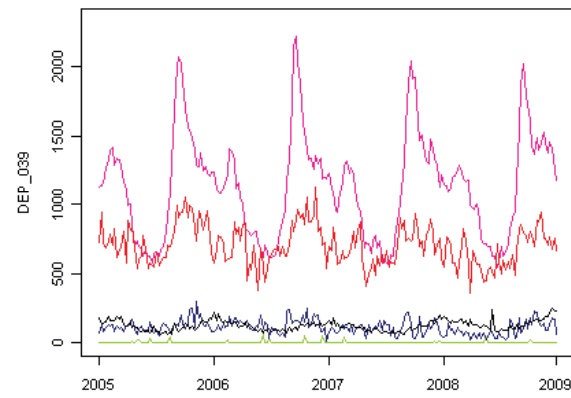
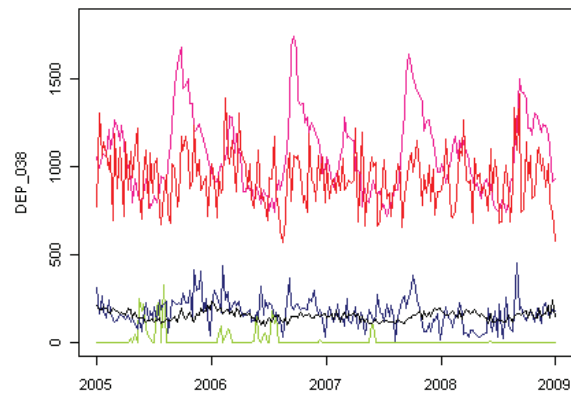
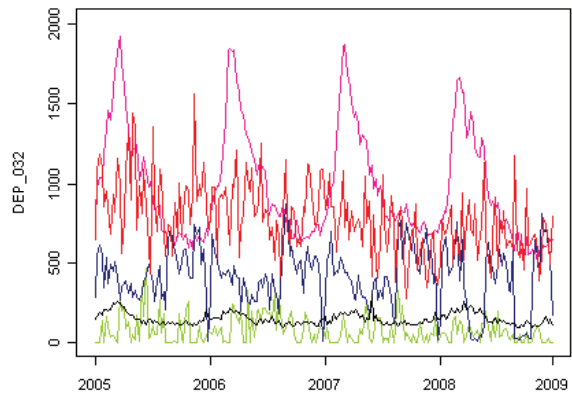
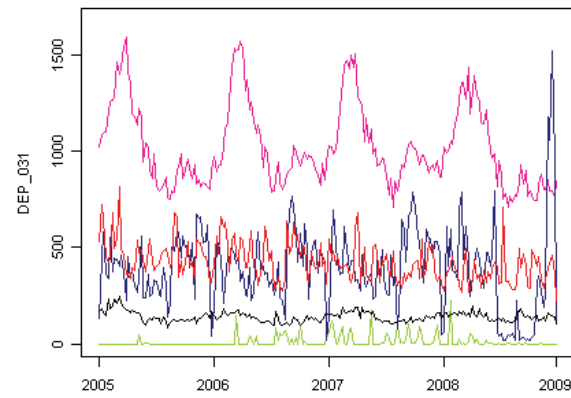
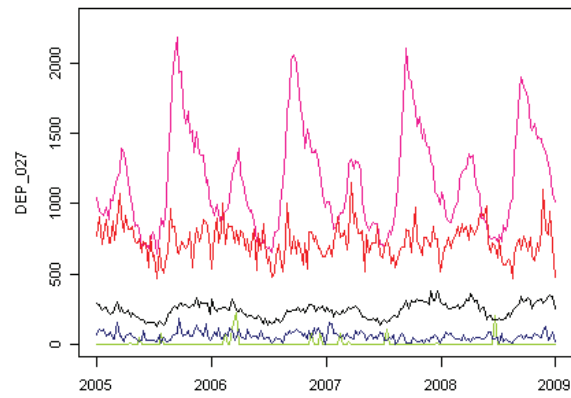
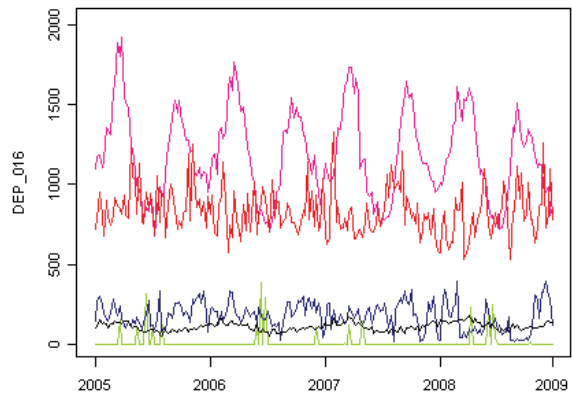
* telles que définies dans ce rapport

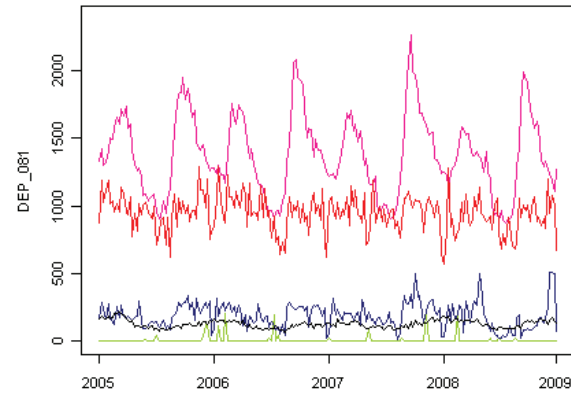
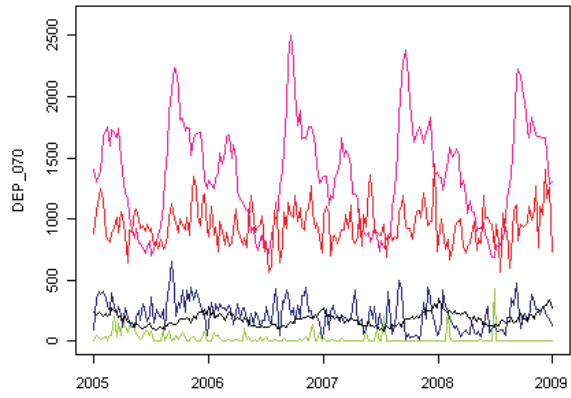
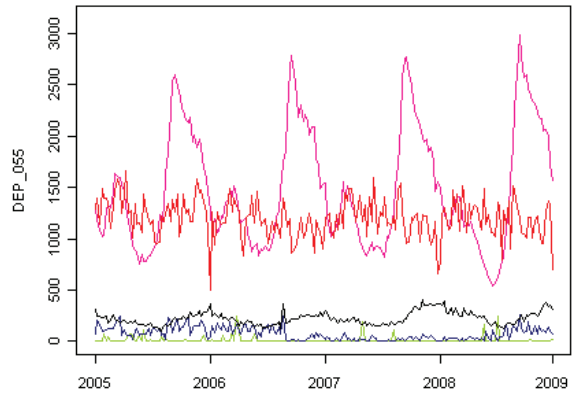
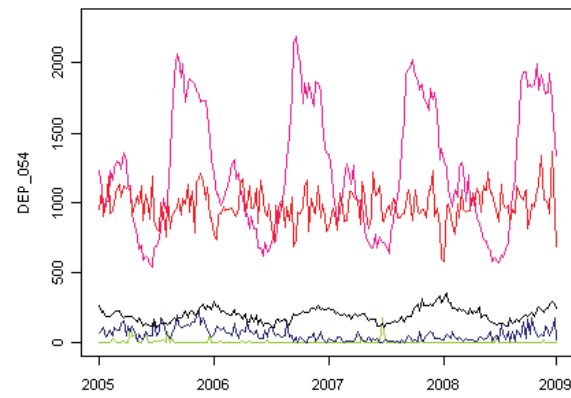
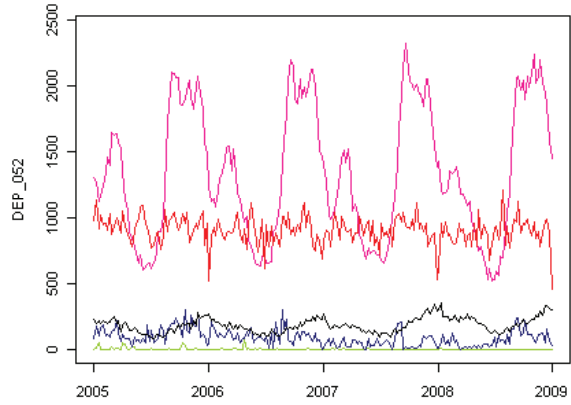
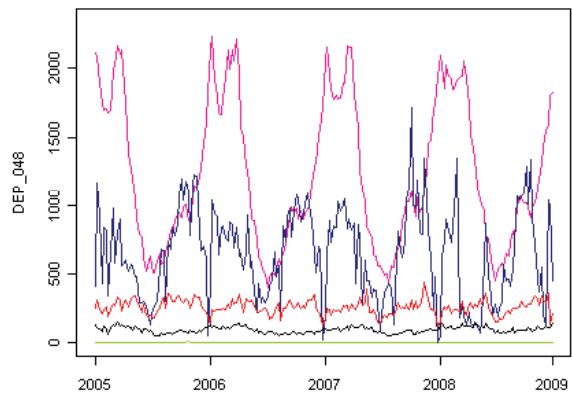
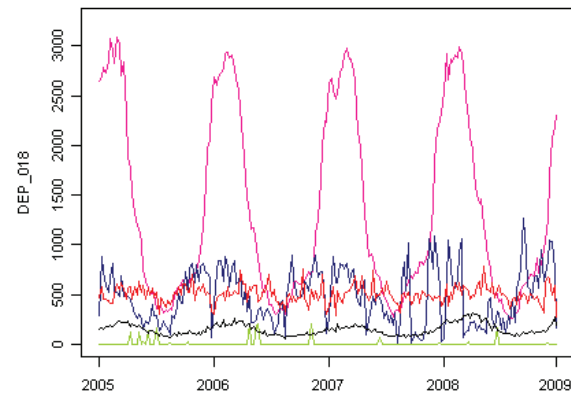
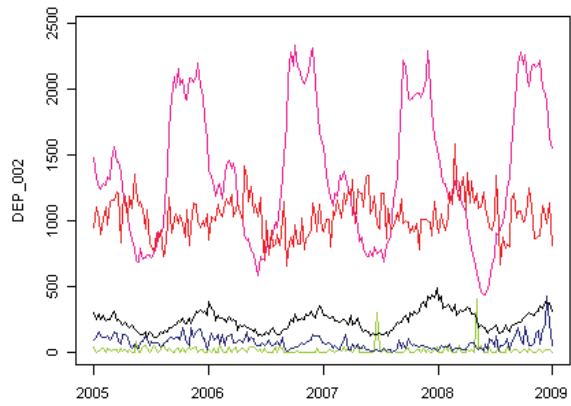
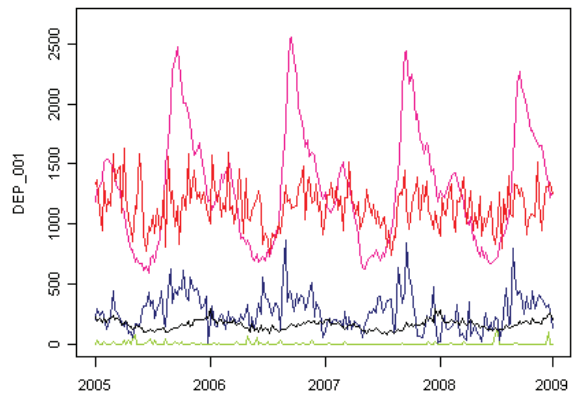


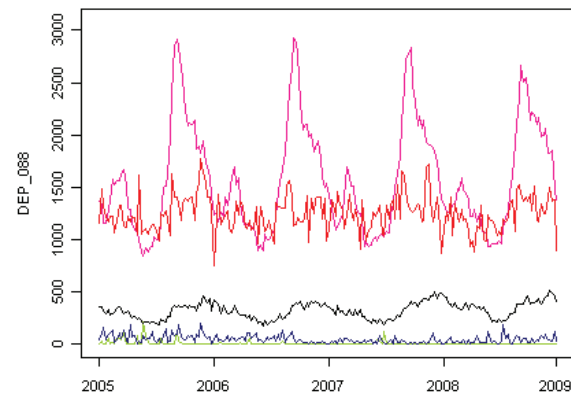
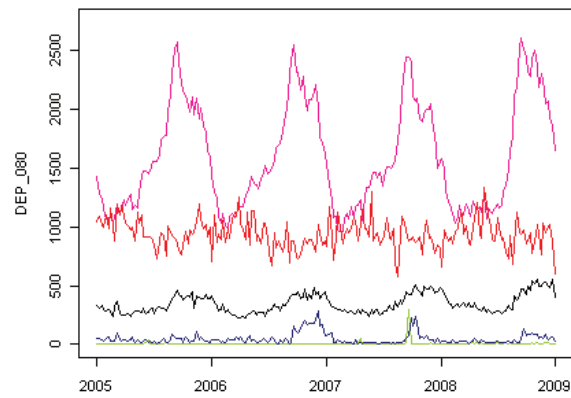
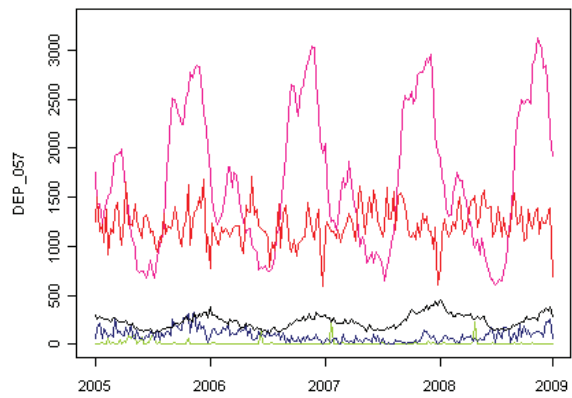
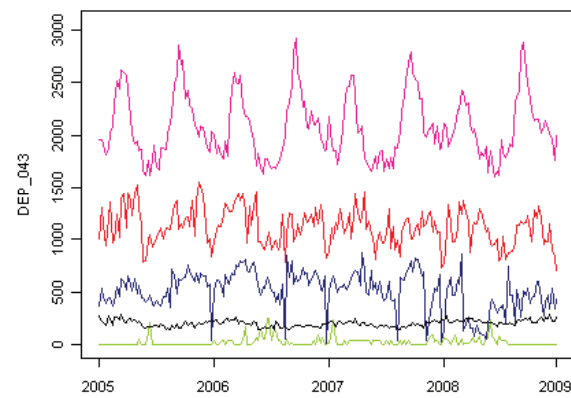
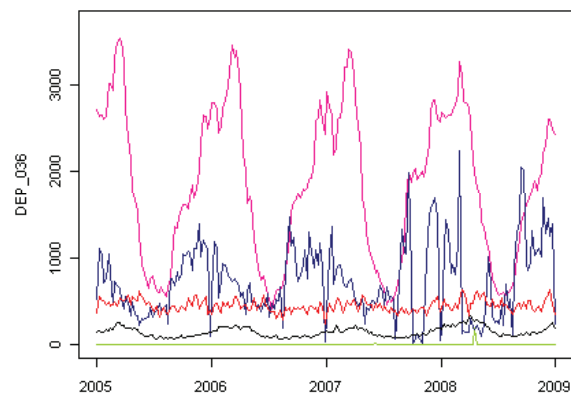
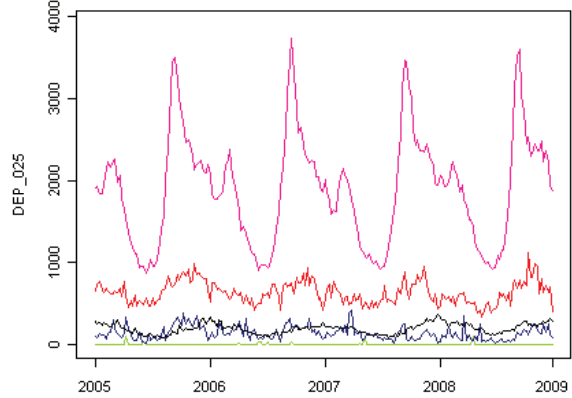
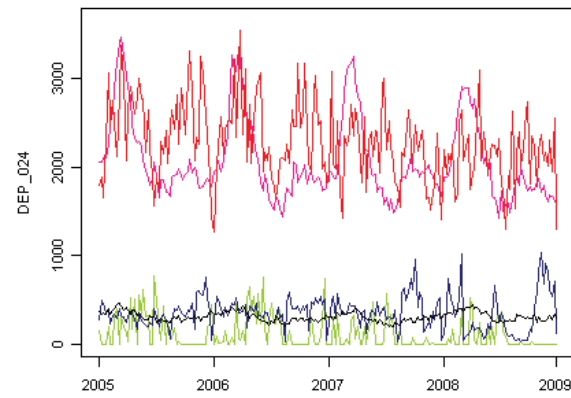
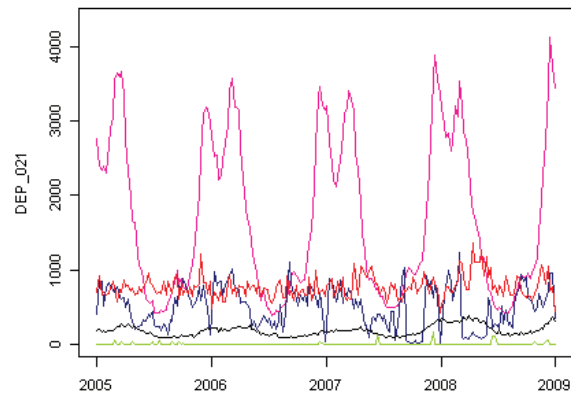
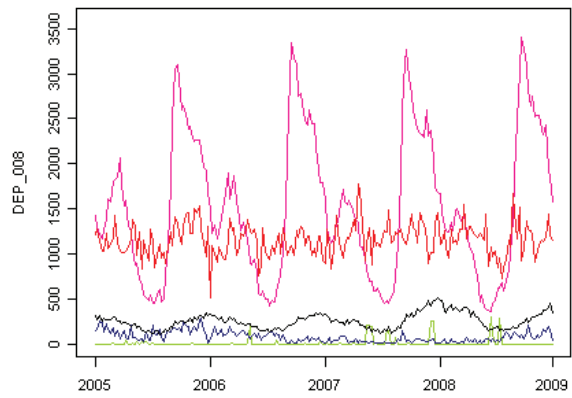


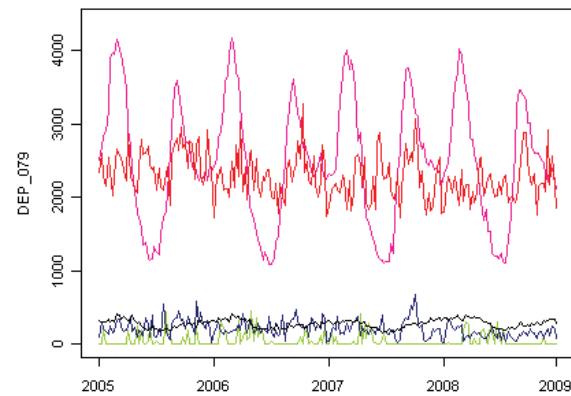
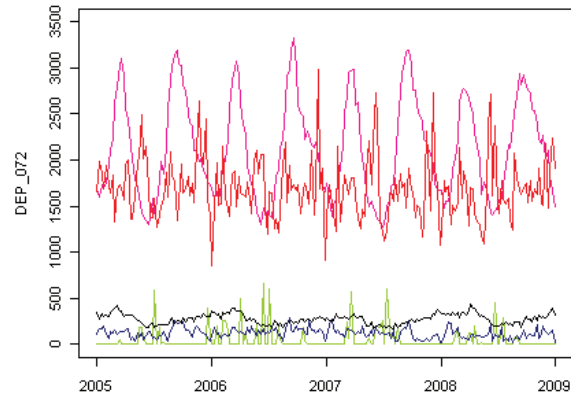
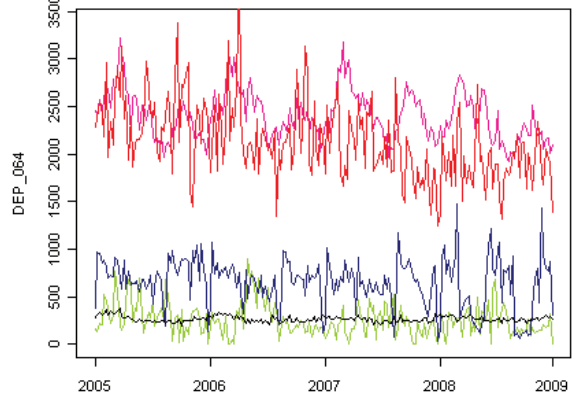
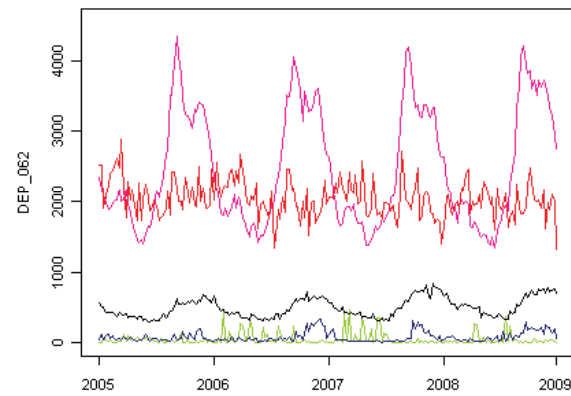
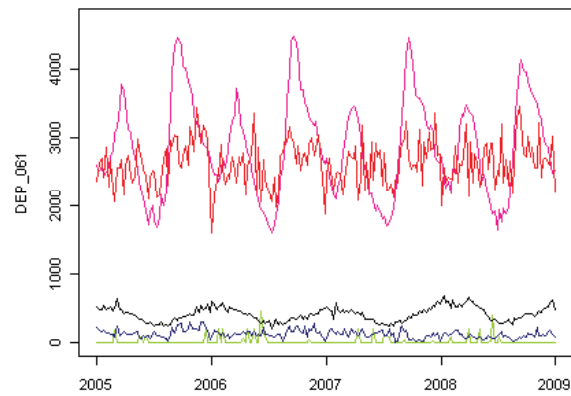
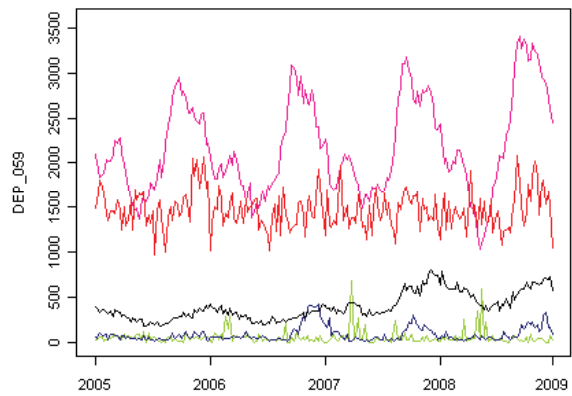
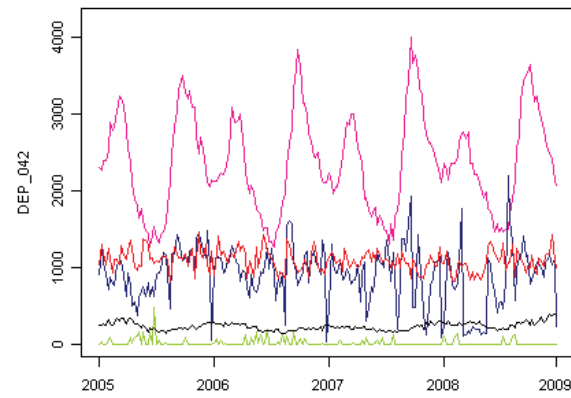
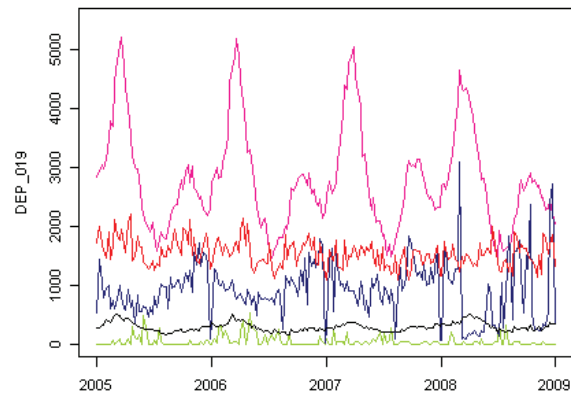
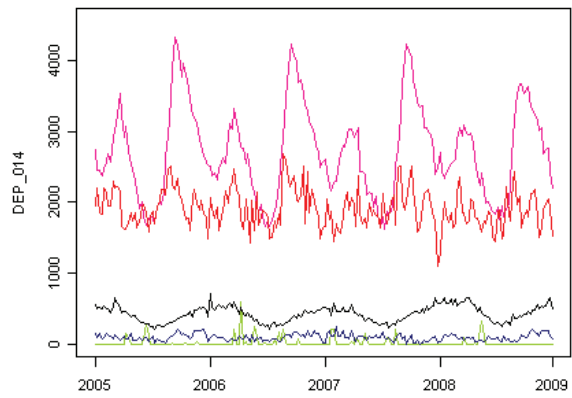


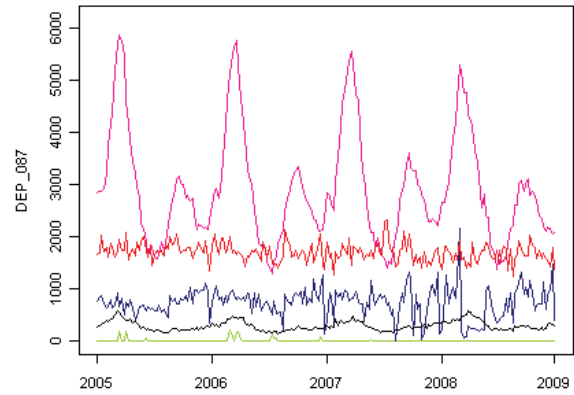
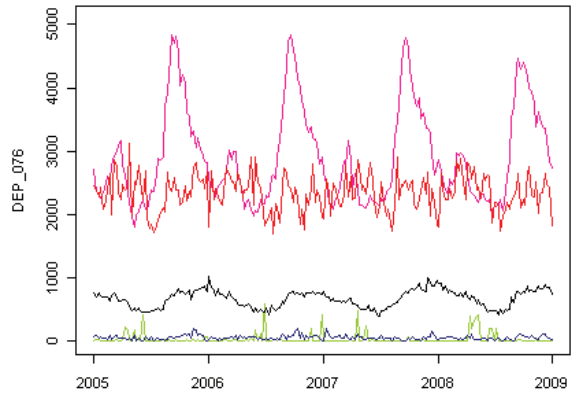
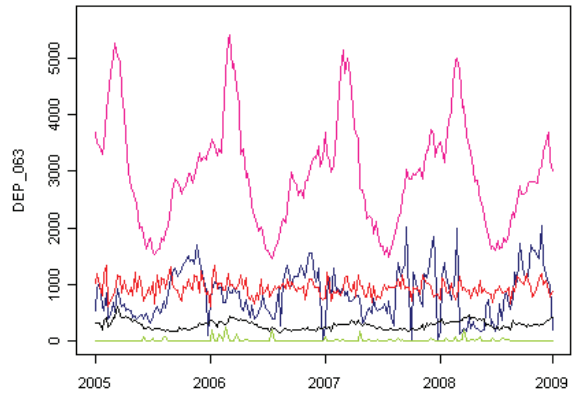
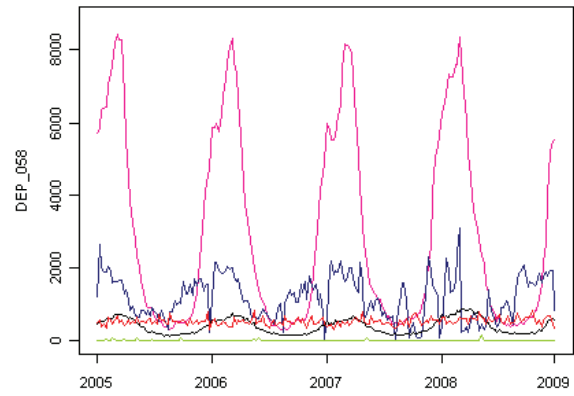
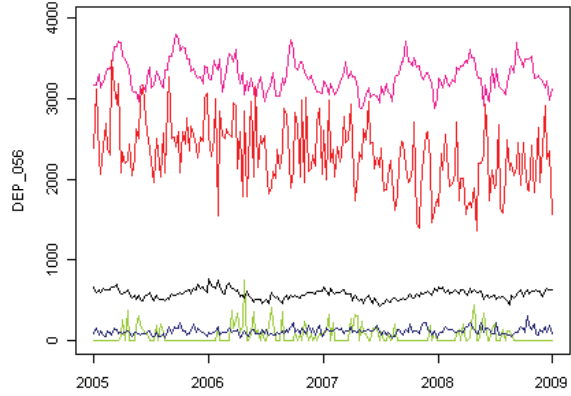
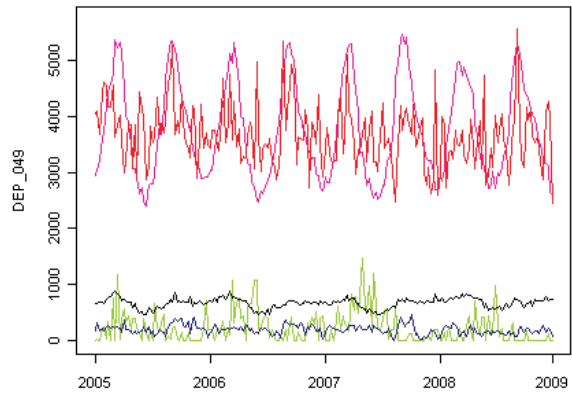
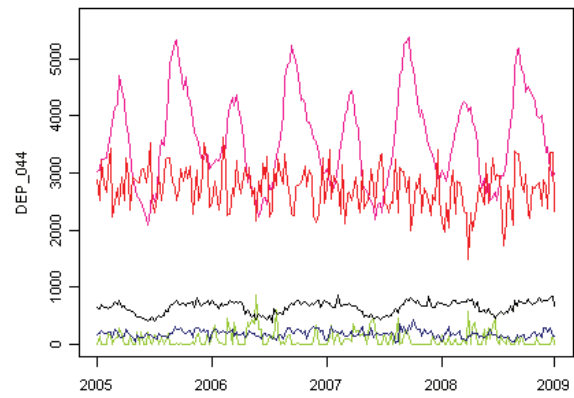
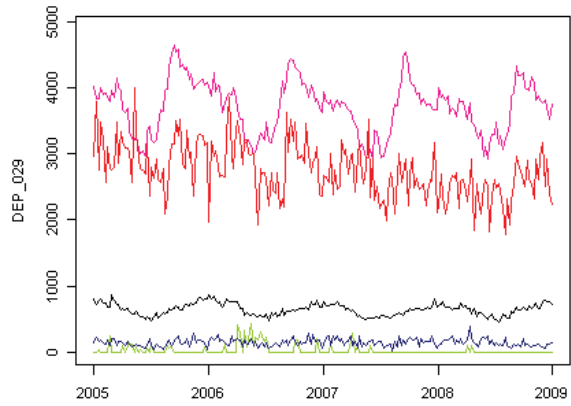
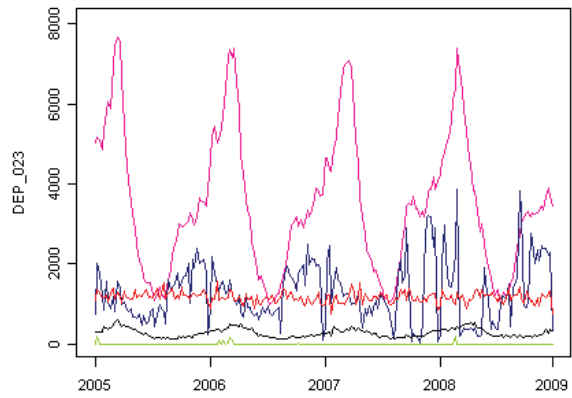


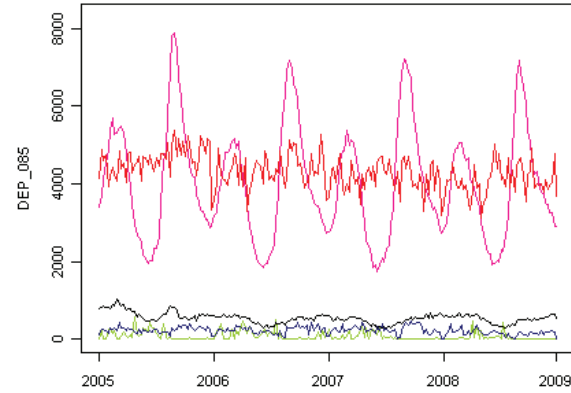
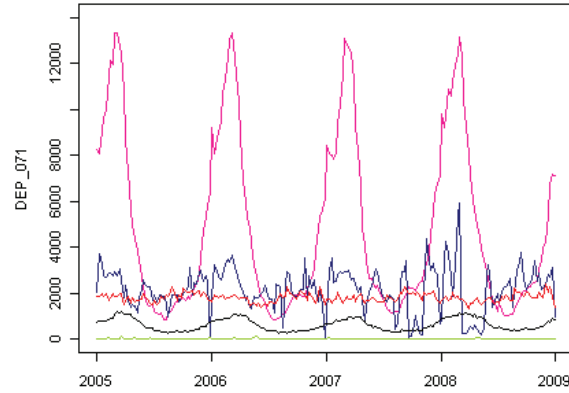
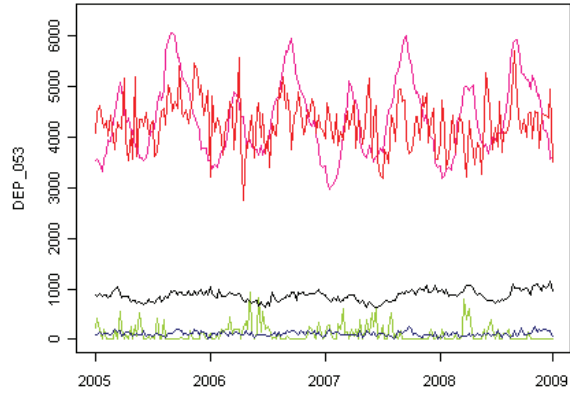
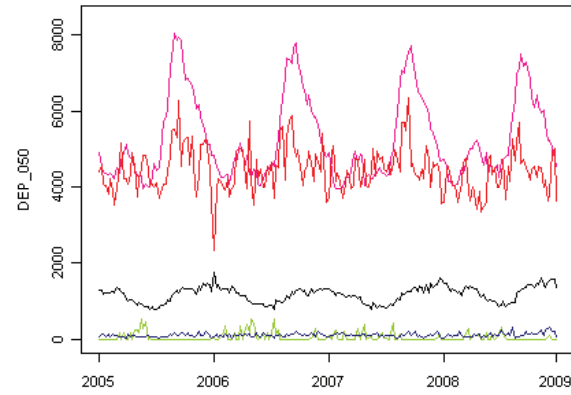
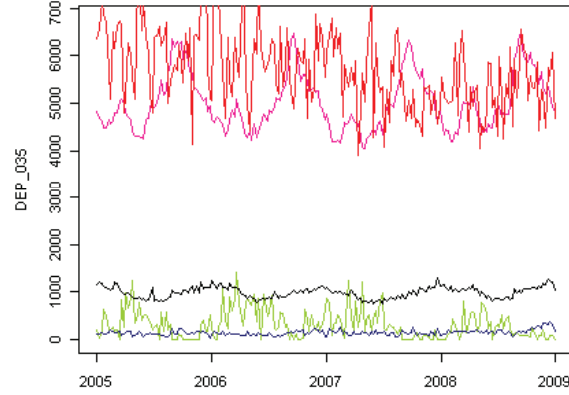
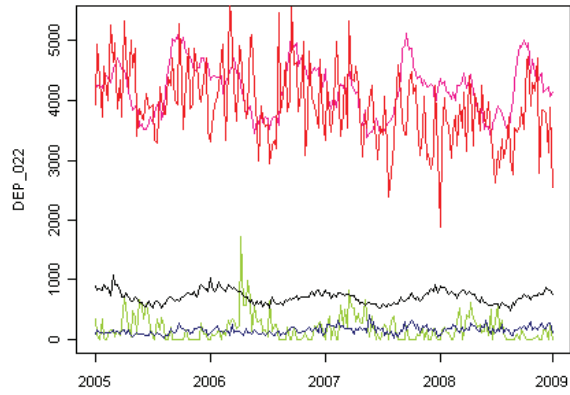
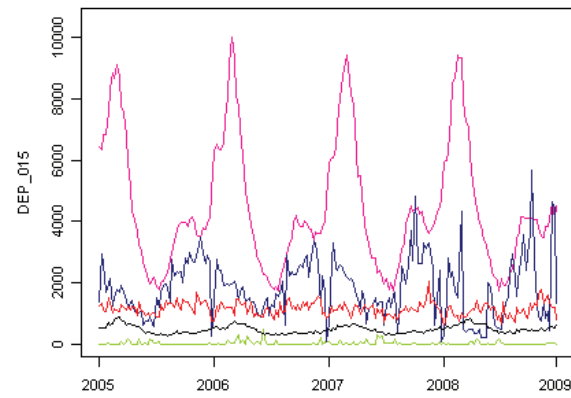
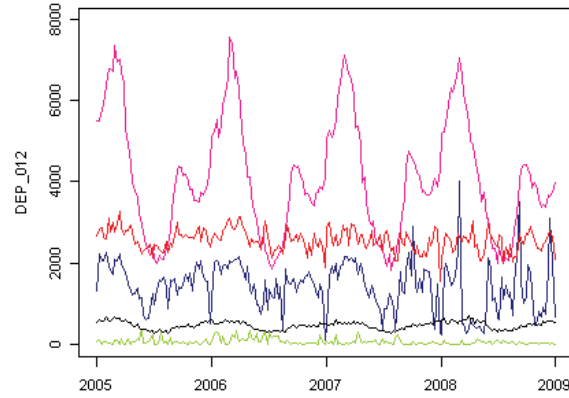
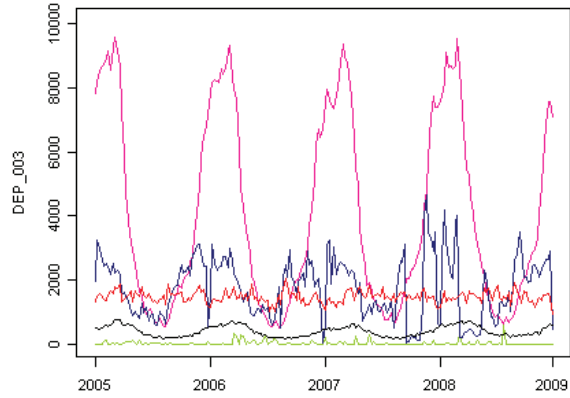












Annexe II : La surveillance syndromique, une nouvelle approche pour la surveillance épidémiologique

Le Nouveau Praticien Vétérinaire, vol 4, n°17, Février Avril 2011

actualités en perspective la surveillance syndromique une nouvelle approche pour la surveillance épidémiologique

Développée en santé humaine pour détecter des événements sanitaires plus précocement qu'avec des dispositifs de surveillance classiques, la surveillance syndromique est un concept récent en épidémiologie animale. Fondée sur le suivi automatisé d'indicateurs indirects de la santé d'une population, cette nouvelle approche offre, malgré ses limites, des perspectives intéressantes pour la détection de phénomènes pathologiques divers, notamment les multiples agents infectieux exotiques potentiellement menaçants.

Les dispositifs de surveillance épidémiologique classiques, dédiés à la détection et/ou au suivi d'une maladie en particulier, sont efficaces vis-à-vis du danger pour lequel ils ont été développés, mais ne sont capables de détecter que ce qu'ils recherchent. Or, des épizooties récentes (fièvre catarrhale ovine, encéphalopathie spongiforme bovine, etc) ont montré que malgré la diffusion de plus en plus rapide des informations sanitaires, et l'amélioration des connaissances en épidémiologie, il est toujours difficile, voire impossible, de connaître



1 Saisie des informations sur l'inspection *post-mortem* en temps réel sur la chaîne d'abattage dans le cadre du programme Nergal (photo Anses).

a priori les dangers susceptibles d'apparaître dans les populations sous surveillance.

- Quand bien même tous les dangers potentiels pourraient être identifiés, les ressources disponibles seraient trop limitées pour autoriser la mise en place de dispositifs de surveillance spécifiques pour chacun d'entre eux. En effet, le contexte actuel, avec la mondialisation des échanges de personnes, d'animaux et de biens (qui sont autant de véhicules ou de vecteurs potentiels de maladies) et les changements climatiques (susceptibles de modifier la biologie et la distribution de certains vecteurs), semble particulièrement favorable à l'émergence de nouvelles maladies.

- Confrontés à cette problématique, les épidémiologistes ont commencé à explorer de nouvelles approches de surveillance. L'une d'entre elles, dénommée surveillance syndromique, suscite un intérêt croissant (**encadré 1**).

Encadré 1 - Surveillance syndromique : une définition qui évolue

- Le terme de surveillance syndromique prête à confusion. Proposé en référence aux premiers dispositifs mis en place, qui collectaient des données sur les syndromes respiratoires observés chez des patients américains, ce concept a évolué [10].
- La surveillance syndromique ne se limite plus aujourd'hui à la surveillance de syndromes. Le CDC (*Center for disease control and prevention*) a proposé en 2004 la définition suivante [5] : "une approche, basée sur l'automatisation de la collecte et de l'analyse des données, qui consiste à surveiller des indicateurs de santé peu

spécifiques en temps réel ou proche du réel, afin de détecter des foyers de maladie plus rapidement qu'avec des méthodes traditionnelles de surveillance, reposant sur un diagnostic spécifique".

- Les dispositifs de surveillance syndromique (DSS) se distinguent donc des dispositifs de surveillance classique par :
 - l'utilisation d'"indicateurs de maladie" non spécifiques ;
 - une collecte et une analyse des données automatisées, et effectuées dans un délai proche du temps réel.

Jean-Baptiste Perrin¹
Christian Ducrot²
Didier Calavas¹
Pascal Hendrikx³

¹ Anses, Laboratoire de Lyon
31 avenue Tony Garnier
69364 Lyon Cedex 07

² Inra, Centre de Clermont-Ferrand/Thèze
63122 Saint-Genès-Champagnelle

³ Anses, Direction scientifique
des laboratoires
27 avenue du Général Lederc
94700 Maisons-Alfort

Objectifs pédagogiques

- Comprendre les principes de la surveillance syndromique.
- Connaître les intérêts et les limites de ce type d'approche.

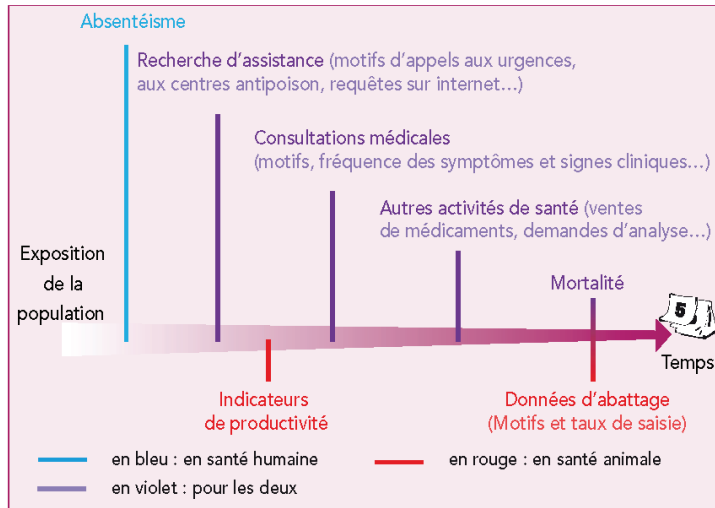
Essentiel

- L'objectif de la surveillance syndromique est d'évaluer les éventuels impacts sur la santé d'événements sanitaires, que leurs causes soient identifiées ou non.
- Les systèmes de surveillance syndromique collectent et analysent, de manière automatisée et dans un délai proche du temps réel, des indicateurs de santé non spécifiques.

ACTUALITÉS

■ Crédit Formation Continue :
0,05 CFC par article

Figure 1 - Exemples d'indicateurs de l'état de santé d'une population utilisés dans le cadre de la surveillance syndromique dans l'ordre chronologique de leur disponibilité



Essentiel

La mise en place et l'entretien des systèmes de surveillance syndromique nécessitent un faible investissement financier, mais d'importantes compétences en statistiques et en administration de données.

Le projet "Triple S" (*Syndromic Surveillance System in Europe*) a pour objectif d'inventorier les systèmes existants en santé humaine et animale, et de favoriser leur harmonisation.

Les dispositifs de surveillance syndromique peuvent détecter un spectre plus large d'événements, qui reflètent l'état de santé global de la population sous surveillance.

Les performances et l'intérêt des dispositifs de surveillance syndromique reposent fortement sur le lien entre l'indicateur utilisé et l'état de santé réel de la population surveillée.

Ce concept a été développé à partir de 2001, par des équipes américaines, qui recherchaient un moyen de détecter le plus précocement possible les effets d'une éventuelle attaque bioterroriste [10]. Depuis, un certain nombre de programmes ont été mis en place (principalement en santé humaine, mais aussi en santé animale), ce qui offre le recul nécessaire pour discuter de l'intérêt de cette nouvelle approche de surveillance épidémiologique.

LES PRINCIPES DE LA SURVEILLANCE SYNDROMIQUE

- Au contraire des dispositifs de surveillance classiques, qui tentent de détecter une maladie déterminée en mettant en évidence la présence d'un agent pathogène, les dispositifs de surveillance syndromique ne reposent pas sur un diagnostic spécifique.

- Ils sont supposés pouvoir détecter un spectre plus large d'événements : foyers infectieux, contaminations alimentaires ou environnementales, effets des vagues de chaleur ou de froid, etc... car les indicateurs suivis reflètent l'état de santé global de la population sous surveillance. Ces dispositifs sont par ailleurs souvent moins coûteux, et potentiellement plus réactifs que ceux fondés sur des analyses biologiques.

- En santé animale, comme en santé humaine, les indicateurs exploitables dans le cadre de la surveillance syndromique sont de nature extrêmement variée (figure 1) : appels aux centres de soins, prescriptions médicales, indicateurs de productivité, etc.

Un projet, cofinancé par la Commission européenne, et intitulé "Triple S" (*Syndromic Surveillance Systems in Europe*), a d'ailleurs été lancé en septembre 2010, afin d'inventorier les dispositifs (humains et vétérinaires) qui existent en Europe, et les données qu'ils exploitent.

- Plusieurs projets de surveillance syndromique vétérinaires reposent sur le suivi de syndromes cliniques chez les animaux de compagnie [9, 12, 16], ou chez les animaux de production [6, 7, 11, 13, 17, 19]. D'autres tentent d'exploiter des données relatives aux ventes de médicament [18], des données de production, d'abattage ou encore d'équarrissage [1, 2, 3, 15].

- Dans la définition proposée par le CDC (*Center for disease control and prevention*, États-Unis), les dispositifs de surveillance syndromique sont caractérisés par une collecte et par une analyse des données immédiates et automatisées (encadré 2).

- Cette situation idéale est rarement atteinte dans les faits. Le plus souvent, les données sont collectées et analysées à un rythme quotidien, voire hebdomadaire, et le degré d'automatisation atteint est variable. Les systèmes fondés sur des notifications *via internet* ou *via le téléphone* sont les plus fréquents [2, 17], mais il existe aussi des projets dans lesquels les praticiens sont équipés d'outils de notification portatifs (*personal digital assistant* PDA), qui offrent l'avantage d'être rapides, efficaces, interactifs, et sécurisés [11, 19].

DES DONNÉES DÉJÀ COLLECTÉES, MAIS PAS FORCÉMENT ACCESSIBLES Les freins à l'obtention des données

- De nombreuses données pouvant refléter l'état de santé des populations animales sont régulièrement collectées en France pour des raisons sanitaires, économiques, zootechniques, ... Mais, leur disponibilité en temps réel et de manière centralisée n'est pas toujours assurée :

- en effet, une part importante des structures qui collectent ces données sont privées (industries pharmaceutiques et agro-alimentaires, organisations agricoles, cliniques vétérinaires, etc), et ne souhaitent pas transmettre systématiquement des informations qui pourraient nuire à leur activité commerciale (données sur les ventes de médicaments, informations sur l'activité des cabinets vétérinaires) ;

- de plus, la multiplicité des opérateurs peut compliquer techniquement la collecte et la centralisation des données, notamment

actualités en perspective - la surveillance syndromique, une nouvelle approche



2 La saisie en ligne des données d'inspection *post-mortem* permet de garantir la qualité des données, tout en facilitant le travail des agents sur la chaîne (programme Nergal) (photo Anses).

lorsque ceux-ci utilisent des systèmes d'information non compatibles.

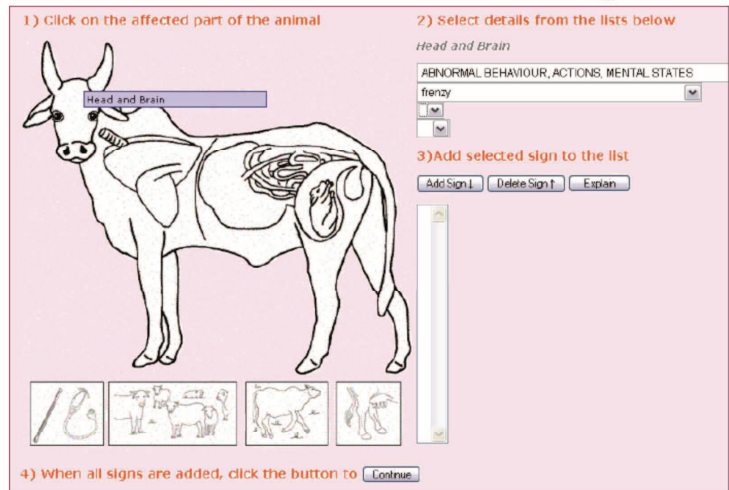
Les solutions envisagées

- Ces obstacles à l'obtention des données peuvent être surmontés. En effet, l'industrie agro-alimentaire représente un domaine d'activité certes commercial et très concurrentiel, mais aussi très réglementé, dont les opérateurs (fermes, abattoirs, centres d'équarrissage, ...) sont contraints de collecter, voire de partager, un grand nombre d'informations. Ainsi, en France, le système d'information de la Direction générale de l'alimentation (SIGAL) centralise déjà de nombreuses données qui peuvent avoir un intérêt pour la surveillance épidémiologique : mortalité, naissances, avortements, lésions d'abattage, etc.
- En l'absence de réglementation contraignante, l'accès aux données peut souvent être obtenu en échange d'une compensation, financière ou non.
- L'augmentation de la taille des organisations professionnelles, les avancées en matière de traitement de l'information, et la généralisation de certains logiciels augmentent d'autant les possibilités de centralisation de données à grande échelle. Ainsi, les réseaux NCASP (*National companion animal surveillance program*) aux États-Unis et SAVSNET (*Small animal veterinary surveillance network*) au Royaume-Uni centralisent des données saisies dans un large réseau de cliniques vétérinaires privées pour animaux de compagnie (encadré 3) [9, 16].

ANALYSE DU SIGNAL ET RECHERCHE D'ANOMALIES

- La plupart des systèmes actuels fonctionnent avec des algorithmes de détection d'anomalies temporelles, qui évaluent régulièrement l'écart entre la valeur observée de

Figure 2 - Interface graphique du *Bovine syndromic surveillance system* australien, permettant aux éleveurs de décrire les symptômes observés sur leurs animaux et de recevoir une aide au diagnostic



Encadré 2 - Bovine syndromic surveillance system (BOSS)

- Le *Bovine syndromic surveillance system* (BOSS) est un dispositif qui collecte des informations via un service d'aide au diagnostic en ligne, destinés aux éleveurs australiens.
 - Les utilisateurs saisissent les signes cliniques qu'ils ont observés, via une interface graphique simple, et obtiennent en échange des informations sur les diagnostics possibles, et sur les mesures à prendre (figure 2).
 - La base de données contient des informations sur environ 1000 maladies, et 1500 signes cliniques.
 - Leurs requêtes sont analysées par deux algorithmes de détection d'anomalies, qui alertent les autorités sanitaires locales lorsqu'un changement de fréquence dans les syndromes notifiés est détecté.

l'indicateur et celle attendue d'après les données du passé [4].

- La détection en temps réel d'anomalies est confrontée à des problématiques statistiques particulières, telles que :
 - la prise en compte des délais de notification, dont la moyenne et la variance influencent respectivement la réactivité et la sensibilité de la détection ;
 - la prise en compte des données aberrantes : la transmission en temps réel limite les possibilités de consolidation des données ;
 - la modélisation des fluctuations ordinaires de l'indicateur : définition du niveau de référence ;
 - la détermination des seuils d'alerte : détection du signal, ... [8].
- Ces problématiques peuvent se révéler complexes, et nécessitent des ressources

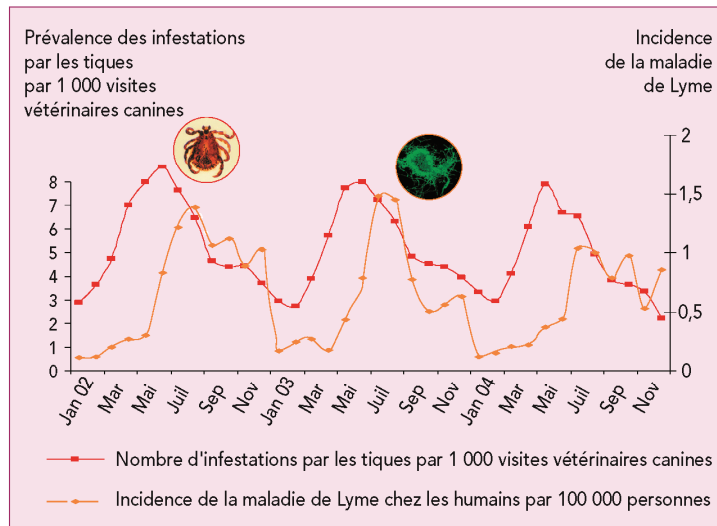
des exemples de ce qui se fait ailleurs

- En Australie, le système BOSS (*Bovine syndromic surveillance system*) collecte des données sur les signes cliniques observés par les éleveurs dans leur troupeau, grâce à un service d'aide au diagnostic en ligne.
- Au Danemark, les motifs d'appel à une ligne d'assistance au diagnostic, destinée aux éleveurs et aux vétérinaires, sont collectés et analysés.

ACTUALITÉS

actualités en perspective - la surveillance syndromique, une nouvelle approche

Figure 3 - Évolution conjointe de la prévalence d'infestations par les tiques chez le chien et de l'incidence des cas humains de la maladie de Lyme aux États-Unis



Encadré 3 - Aux États-Unis, un système de surveillance pour les chiens et les chats

• Aux États-Unis, le NCASP (*National companion animal surveillance program*) est un dispositif qui collecte des données produites par des cliniques vétérinaires qui appartiennent à l'enseigne "Banfield, The Pet Hospital", soit plus de 500 établissements, répartis dans 44 états, et totalisant environ 80 000 visites par semaine [2].

• Chaque nuit, les informations (signes cliniques observés, diagnostic posé, prélèvements effectués, traitement prescrit) sont centralisées dans une base nationale.

• Les données ainsi collectées ont permis, par exemple, de comparer l'évolution du taux de chiens infestés par les tiques lors d'une consultation avec celle de l'incidence de la maladie de Lyme dans la population humaine (figure 3).

L'antériorité des pics d'infestation des chiens amenés en consultation suggère que la surveillance de cet indicateur pourrait permettre d'alerter précocement les agences de santé publique sur l'augmentation de l'activité de ces parasites vecteurs de zoonoses.

importantes en matière de gestion de données et d'analyse statistique.

LA NATURE ET LE TRAITEMENT DES ALERTES

• Dans les dispositifs de surveillance classiques, les alertes sont émises lors de la suspicion ou lors de l'identification d'un agent pathogène animal spécifique, qui apparaît brutalement ou qui s'étend brusquement dans la population cible.

• Dans les dispositifs de surveillance syndromique, les alertes sont lancées suite à la suspicion ou à l'identification d'une modification de l'état de santé d'une population, sans préjuger de sa cause. La précocité des alertes émises doit permettre un déploiement rapide d'investigations, pour identifier l'origine du danger, et pour mettre en place des mesures de contrôle et de prévention adaptées.

• Il existe donc une véritable différence conceptuelle entre un système de surveillance syndromique et certains systèmes de surveillance spécifique, qui recherchent activement des syndromes caractéristiques.

- Dans le cas des systèmes de surveillance spécifique, la recherche de syndromes n'est qu'une étape préliminaire pour sélectionner les cas suspects d'une maladie ciblée, en vue de mettre en évidence chez ceux-ci la présence de l'agent pathogène recherché. Dans ce cadre, les syndromes ne font pas l'objet d'une surveillance propre : leur fréquence n'est pas suivie, et leur augmentation ne déclenche pas d'alerte.

L'exemple de la fièvre aphteuse

- La surveillance de la fièvre aphteuse, par exemple, repose sur la détection précoce d'une association de symptômes qui caractérisent la définition du cas suspect. Lorsqu'une suspicion est validée, la réalisation des prélèvements et la recherche du virus aphteux sont systématiquement réalisées.

- Il s'agit bien de surveillance spécifique et non de surveillance syndromique, car la surveillance n'est pas fondée sur une collecte systématique de données cliniques sur les cas (boiteries, pyalisme, vésicules, etc) observés dans la population, et il n'existe pas de seuil déterminé au delà duquel le nombre de suspicions validées déclenche une alerte.

INTÉRÊTS ET LIMITES POUR LA SURVEILLANCE DES POPULATIONS ANIMALES

De nouvelles applications

• Le principal objectif de la surveillance syndromique était initialement la détection précoce de phénomènes attendus (démarriage des épidémies de grippe saisonnière) ou inattendus (attaques bioterroristes, émergence de maladies, ...).

• Toutefois, faute d'occasion ou d'efficacité, rares sont les cas où ces systèmes ont permis d'identifier de nouveaux dangers plus précocement qu'avec les systèmes de surveillance classiques.

• L'intérêt des dispositifs de surveillance syndromique n'a cependant pas été remis en cause, car l'acquisition de données en temps réel sur l'état de santé global de la population a eu d'autres applications non négligeables. Elle a notamment permis aux autorités de santé de disposer rapidement d'informations sur les conséquences sanitaires éventuelles de phénomènes inattendus et potentiellement dangereux (comme la propagation du nuage de fumée du volcan Eyjafjöll en Islande en 2010, les vagues de chaleur, les inondations, ...), ce qui a facilité la prise de décision, et fourni des éléments de communication utiles pour rassurer les populations, ou au contraire, pour déployer des mesures de prévention et de contrôle adaptées.

L'importance du choix des indicateurs

• Les performances et l'intérêt des dispositifs de surveillance syndromique reposent fortement sur le lien entre l'indicateur utilisé et l'état de santé réel de la population surveillée, et ceci qu'ils soient mis en place dans un objectif de détection précoce ou pour contrôler en temps réel les conséquences

actualités en perspective - la surveillance syndromique, une nouvelle approche

ces potentielles de phénomènes identifiés.

- Ce lien entre indicateur et état de santé réel peut être plus ou moins fort, d'autant que souvent ces systèmes exploitent, dans un objectif de surveillance, des données initialement collectées à d'autres fins.

Ainsi, l'augmentation de la recherche autour d'une maladie dans un moteur de recherche sur internet peut résulter de l'émergence de la maladie dans la population, mais aussi d'une campagne de communication qui sensibilise la population à cette problématique. De même, les motifs et les taux de saisie à l'abattoir peuvent évoluer selon la tension existante sur le marché de la viande, le taux de réforme varie selon le prix du lait et de la viande, la néomortalité varie selon le prix du veau à 8 jours, etc.

- Une étude approfondie des facteurs de variation des indicateurs utilisés est à mener au préalable, pour faciliter l'interprétation des anomalies ultérieurement observées [1]. Il est en effet primordial de limiter le nombre d'alertes dues à des événements qui n'ont pas ou peu d'intérêt d'un point de vue sanitaire, afin de maintenir l'implication des acteurs qui sont amenés à intervenir pour investiguer et pour gérer ces alertes.

Le rôle des praticiens

- Les vétérinaires praticiens ont un rôle important à jouer dans ce type de dispositif, même si les systèmes de surveillance syndromique reposent sur l'analyse de données collectées de manière automatisée.

- En effet, ils interviennent dans la production et dans la transmission de données syndromiques (cas des systèmes NCASP ou SAVNET), en notifiant des entités cliniques rencontrées dans leur clientèle, voire les prescriptions délivrées et les examens complémentaires réalisés.

- De plus, ils peuvent être mobilisés pour mener les investigations nécessaires pour identifier le problème sanitaire à l'origine des anomalies détectées dans la séquence de l'indicateur de santé surveillé, comme par exemple la recherche des causes de surmortalité dans une micro-région.

- Comme les vétérinaires n'ont pas d'obligation réglementaire de transmettre les données observées, le succès de leur implication repose sur :

- l'absence de surcharge de travail : ces données doivent pouvoir être transmises de manière automatisée, par exemple via un logiciel de gestion de dossiers cliniques ;

- l'absence d'interférence vis-à-vis de l'activité professionnelle : ces données doivent être anonymes ;

- des compensations offertes par ce système, comme un accès aux résultats d'analyse, un bilan d'informations sanitaires, des alertes en cas d'anomalie, une rémunération de l'acte, ...

CONCLUSION

- Intellectuellement séduisant, le concept de surveillance syndromique n'a jusqu'à présent que partiellement concrétisé les espoirs placés en lui. Les perspectives offertes semblent toutefois particulièrement intéressantes pour le domaine vétérinaire, où pour des raisons économiques (ressources limitées des propriétaires), un diagnostic formel et définitif est probablement moins souvent atteint qu'en santé humaine.

L'étude de cette approche est par ailleurs justifiée par les limites du modèle actuel, qui consiste à entretenir une multitude de systèmes coûteux pour surveiller des maladies dont la prévalence est nulle à très faible. Un million d'euros sont ainsi annuellement dépensés pour rechercher la brucellose en cas d'avortements chez les ruminants, pour finalement ne trouver aucun cas de brucellose, et risquer de passer à côté d'autres causes (par exemple, la fièvre de la vallée du Rift).

- Les avancées récentes en matière de collecte et de transmission des données rendent possible la mise en place de dispositifs jusque-là inenvisageables. Dans un contexte où les moyens disponibles sont réduits, et l'étendue des dangers à surveiller est grande, il semble nécessaire d'explorer toutes les possibilités de l'approche syndromique.

- Cette approche représente un véritable changement de paradigme en matière de surveillance épidémiologique. □

formation continue

1. La surveillance syndromique est la surveillance des syndromes cliniques observés dans une population : oui non
2. Les alertes produites par les systèmes de surveillance syndromique sont moins spécifiques que celles des systèmes classiques, mais théoriquement plus précoces : oui non
3. Le système actuel de surveillance de la fièvre aphteuse est un système de surveillance syndromique : oui non

Références

1. Alton GD, Pearl DL, Bateman KG, coll. Factors associated with whole carcass condemnation rates in provincially-inspected abattoirs in Ontario 2001-2007: implications for food animal syndromic surveillance. *BMC Vet Res* 2010;6(42):11.
2. Bartels CJM, Kock P, Middelhes H, coll. Cattle health surveillance in the Netherlands: how to interpret anecdotal and census data. *Proc 11th Inter Symp Vet Epidemiology and Economics*, Cairns, 2006. <http://www.sciquest.org.nz/elibrary/download/63977/T5-3.2.1>
3. Bayot B, Sonnenholzner S, Ochoa X, coll. An on-line operational alert system for the early detection of shrimp epidemics at the regional level based on real-time production. *Aquaculture* 2008;277:164-73.
4. Buckeridge DL, Okhmatovskaia A, Tu S, coll. Understanding detection performance in public health surveillance: modeling aberrancy-detection algorithms. *J Am Med Inform Assoc* 2008; 15(6):760-9.
5. Buehler JW, Hopkins RS, Overhage JM, coll. Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks. *MMWR Recommendations and reports*, 2004;53(5):1-11.
6. Davies PR, Wayne SR, Torrison JL, coll. Real-time disease surveillance tools for the swine industry in Minnesota. *Vet Ital* 2007;43(3):731-8.
7. De Groot B. The rapid syndrome validation project for animals - augmenting contact with the network of accredited veterinarians. *National Animal Health Surveillance System Outlook* 2005;2(2). En ligne : <http://www.aphis.usda.gov/vs/ceah/ncahs/nsu/outlook/issue5/issue5.htm>
8. Farrington CP, Andrews NJ. Statistical aspects of detecting infectious disease outbreaks. In: Brookmeyer R, Stroup DF, eds. *Monitoring the health of populations: statistical principles and methods*. Oxford:Oxford University Press, 2004;36.
9. Glickman LT, Moore GE, Glickman NW, coll. Purdue University-Banfield National Companion Animal Surveillance Program for emerging and zoonotic diseases. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2006;6(1):14-23.
10. Lazarus R, Kleinman KP, Dashevsky I, coll. Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection. *BMC Public Health* 2001;1:9.
11. Leblond A, Valon F, Hendrikx P. Epidémiologie de la mortalité bovine en vue d'estimer l'impact de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine en France (2007-2009). *Epidemiol et santé anim* 2010;57:69-80.
12. Maciejewski R, Glickman N, Moore G, coll. Companion animals as sentinels for community exposure to industrial chemicals: the Fairburn, GA, propyl mercaptan case study. *Public Health Rep* 2008;123(3):333-42.
13. McIntyre LH, Davies PR, Alexander G, coll. VetPAD - Veterinary practitioner aided disease surveillance system. *Proc 10th international symp vet epidemiology and economics*, Vina del Mar, 2003:335.
14. Moore G E, Ward MP, Dhariwal J, coll. Development of a national companion animal syndromic surveillance system for bioterrorism. 2nd intern conf on the applications of GIS and spatial analysis to veterinary science. Ontario, 2004:9-11.
15. Perrin JB, Ducrot C, Vinard JL, coll. Modélisation de la mortalité bovine en vue d'estimer l'impact de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine en France (2007-2009). *Epidemiol et santé anim* 2010;57:69-80.
16. Radford A, Tierney A, Coyne KP, coll. Developing a network for small animal disease surveillance. *Vet Rec* 2010;167(13):472-4.
17. Shepard RW. The development of a syndromic surveillance system for the extensive beef cattle producing regions of Australia. *Sydney:Faculty vet sci Un Sydney* 2006;253 p.
18. Stege H, Bager F, Jacobsen E, coll. VETSTAT-the Danish system for surveillance of the veterinary use of drugs for production animals. *Prev Vet Med* 2003;57(3):105-15.
19. Vourch G, Bridges VE, Gibbens J, coll. Detecting emerging diseases in farm animals through clinical observations. *Emerg Infect Dis* 2006; 12(2):204-10.

Annexe III : Exemple de rapport départemental sur la mortalité : département du Doubs



Description de la MORTALITÉ BOVINE dans le département du Doubs de 2003 à 2009

Décembre 2010

Rédacteurs :

Jean-Baptiste PERRIN^{1,3},
Didier CALAVAS¹,
Christian DUCROT³,
Jean-Luc VINARD¹,
Pascal HENDRIKX²

¹ ANSES-Lyon

Unité Epidémiologie
31 av. Tony Garnier, 69007 Lyon

² ANSES

Direction scientifique
des laboratoires

³ INRA Centre de Theix

Unité d'épidémiologie animale
63122 Saint Genès Champanelle

Chiffres clefs

De 2003 à 2009, **17 077** morts de bovin ont été notifiées annuellement dans le département du Doubs., soit 7.3 notifications en moyenne par an et par exploitation. Les veaux de moins de 1 mois ont représenté 65.6% de ces notifications, alors que les animaux de plus de 2 ans n'en représentaient que 16.1%.

Des taux de mortalité ont été estimés en rapportant le nombre de morts notifiées au nombre de bovin-jours dans le département, calculé à partir de la BDNI. En 2009, le taux brut de mortalité était de **21.99 pour 100 000 bovin-jours** dans le département et de 18.29 à l'échelle nationale. La mortalité était moins élevée chez les bovins laitiers que chez les bovins allaitants (taux respectivement de **21.89** et **22.69** morts pour 100 000 bovin-jours), avec un écart cependant variable selon la catégorie d'âge considérée.

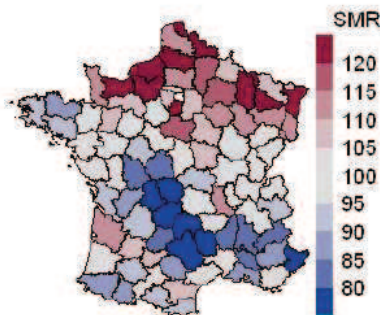
Le tableau ci-contre indique les valeurs des risques de mortalité (probabilité de mourir dans une catégorie sachant qu'elle a été atteinte) par catégorie d'âge et type de production.

Risque de mortalité (en %) dans le département du Doubs en 2009 (et intervalle de confiance à 95%)

Cat.age	Allaitants	Laitiers
inf_7j	5.99 [5.63 : 6.35]	7.24 [7.08 : 7.39]
7j_1m	4 [3.66 : 4.34]	5.44 [5.28 : 5.61]
1_2m	1.14 [0.93 : 1.35]	1.47 [1.36 : 1.57]
2_6m	2.3 [1.99 : 2.6]	2.26 [2.13 : 2.39]
6m_1a	1.53 [1.26 : 1.79]	1.47 [1.36 : 1.59]
1_2a	1.82 [1.53 : 2.12]	1.22 [1.11 : 1.32]
2_3,5a	1.81 [1.48 : 2.13]	1.55 [1.44 : 1.67]
3,5_5a	2.11 [1.51 : 2.72]	1.68 [1.54 : 1.82]
5_10a	2.72 [2.15 : 3.29]	2.62 [2.47 : 2.77]
sup_10a	6.54 [4.82 : 8.22]	5.87 [5.13 : 6.62]

j : jour, m : mois, a : année

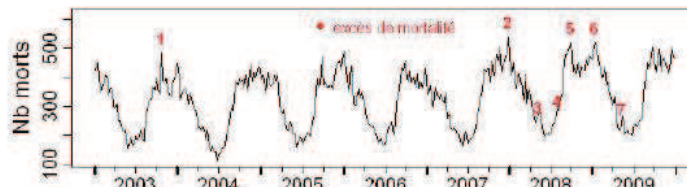
L'estimation du risque de mortalité avant 7 jours prend en compte les veaux mort-nés.



Indice comparatif de mortalité (SMR) par département en 2009

La mortalité observée dans chaque département a été comparée grâce à l'indice comparatif de mortalité (SMR). Le SMR est un indicateur synthétique permettant de comparer la mortalité dans des populations différentes (un SMR supérieur à 100 indique que la mortalité est plus importante dans la population étudiée que dans une population de référence et inversement). Considérant la population nationale comme population de référence, le SMR pour le département du Doubs a été de **88.6** en 2009, le plaçant à la **22^{ème}** position parmi les départements français ordonnés du SMR le plus faible au SMR le plus fort (carte ci-contre).

De 2003 à 2009, **327** morts de bovins ont été en moyenne notifiées par semaine dans le département du Doubs. Le nombre hebdomadaire de notifications présente des variations saisonnières (figure ci-contre), principalement dues à la saisonnalisation des vêlages. La modélisation des séries temporelles de mortalité a permis d'identifier certains pics inhabituels. Les anomalies ont été recherchées dans les séries de mortalité de la population globale (**7 pics** identifiés, cf. figure ci-contre) ainsi que pour certains sous groupes populationnels (**29 pics** de surmortalité identifiés dans 10 sous-groupes).



Fluctuations hebdomadaires du nombre de morts dans le département du Doubs, de 2003 à 2009

Introduction

Depuis 1998, la Base de données nationale d'identification bovine (BDNI) centralise l'ensemble des données d'identification collectées par les Établissements départementaux de l'élevage (EDE). Les notifications de mouvements d'animaux transmises par les éleveurs permettent de connaître précisément et à tout instant la composition de la population bovine française (soit 20 millions d'individus en moyenne) et la mortalité associée.

Ces notifications ont été analysées par département afin de fournir des indicateurs permettant d'évaluer l'importance et l'évolution de la mortalité dans le cheptel bovin de 2003 à 2009. Ce document présente les résultats obtenus dans le département du Doubs. Il est le fruit d'une collaboration entre la Direction générale de l'Alimentation (DGAI), l'Agence Française de Sécurité Sanitaire (Anses) et de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), rassemblés dans le cadre du projet OMAR (Observatoire de la mortalité des animaux de rente).

Table des matières

Effectifs de mortalité.....	4
Risques et taux de mortalité en 2009	7
Comparaison avec les autres départements.....	10
Evolution temporelle.....	12
Annexe 1 : Calcul des indicateurs de la mortalité.....	16
Annexe 2 : Population de référence.....	18
Annexe 3 : Calcul des temps de présence cumulés (dénominateur).....	19
Annexe 4 : Modélisation des séries temporelles.....	20
Annexe 5 : Taux de mortalité annuels par âge et type de production.....	21
Annexe 6 : Dates des pics de surmortalité.....	22

EFFECTIFS DE MORTALITÉ

De 2003 à 2009, **119 542** morts de bovins ont été notifiées dans le département du Doubs. Les caractéristiques de ces bovins ont dans un premier temps été étudiées sans être rapportées à la population vivante du département (233 048 bovins en moyenne sur la période).

1. Données brutes

Les notifications transmises de 2003 à 2009 permettent notamment de connaître la race, l'âge à la mort et le sexe de chaque animal.

Race

23 races différentes ont été identifiées parmi les bovins équarris dans le département au cours de cette période. La race la plus représentée était la race Montbeliarde (84% des bovins amenés à l'équarrissage), suivie des races Croisee, Charolaise et Prim Holstein (Figure 1). Les autres races, représentant individuellement moins de 1% du nombre total de bovins équarris, ont été regroupées dans la catégorie "Autres".



Figure 1 : Races des bovins équarris dans le département du Doubs de 2003 à 2009

Âge à la mort

Le nombre d'animaux équarris est représenté sur la Figure 2, en fonction de l'âge à la mort (exprimé en jours pour les animaux de moins de un mois, puis en mois au-delà) et du sexe. Les chiffres de la BDN

confirment la très grande proportion de veaux parmi les bovins morts. De 2003 à 2009, les veaux de moins de 1 mois ont représenté 65.6% des notifications de mortalité, alors que les animaux de plus de 2 ans n'en représentaient que 16.1%. Le diagramme a. indique le nombre de veaux déclarés mort-nés (voir encadré). Dans les départements où l'identification des veaux morts n'est pas exigée en-dessous de 7 jours (âge où elle est strictement obligatoire), une partie des veaux morts-nés correspond en réalité à des veaux morts après 48h. Dans ces départements, les effectifs

déclarés morts de 3 à 7 jours (diagramme b.) peuvent en conséquence être sous-estimés (ce qui explique que dans certains départements, le nombre de notifications en fonction de l'âge à la mort soit croissant au cours de la première semaine).

VEAUX MORTS NÉS (VMN) Les veaux mort-nés sont définis comme des veaux qui naissent morts ou qui meurent dans les 48 heures suivant la naissance. Leur notification à la BDN est obligatoire, mais pas leur identification. La mort des veaux identifiés est enregistrée comme tout autre mouvement bovin dans la BDN, tandis que la mort des veaux non identifiés est enregistrée dans une base de données distincte. Les deux sources de données ont été prises en compte dans ce document.

globalement exponentielle, mais chez les femelles une augmentation du nombre de morts peut être observée vers 3 ans puis dans une moindre mesure autour de 4, 5, 6 ans etc. (Figure 3). Ces augmentations soulignent l'importance de la mortalité péri-partum.

Sexe

Alors qu'ils sont sous-représentés dans la population vivante (en raison de leur rapide élimination par abattage ou exportation), les mâles constituaient 47% des bovins équarris de 2003 à 2009 dans le département (Figure 2). Ce pourcentage élevé s'explique par l'importante proportion de veaux parmi les bovins morts. En effet, 67% des veaux morts-nés et 62% des animaux équarris à moins de un mois étaient des mâles, mais ceux-ci ne constituaient que 2% des animaux équarris à plus de deux ans.

Le nombre plus élevé de mâles parmi les veaux morts (1.65 fois plus de mâles que de femelles parmi les animaux équarris à moins d'un mois) ne peut pas s'expliquer uniquement par le nombre plus élevé de mâles à la naissance (1.1 fois plus de mâles que de femelles). Cette différence de mortalité pourrait être due à une plus grande fragilité des mâles (phénomène observé dans la population humaine), ou surtout être la conséquence des soins plus limités dont ils font l'objet, ayant une valeur économique plus faible que les femelles.

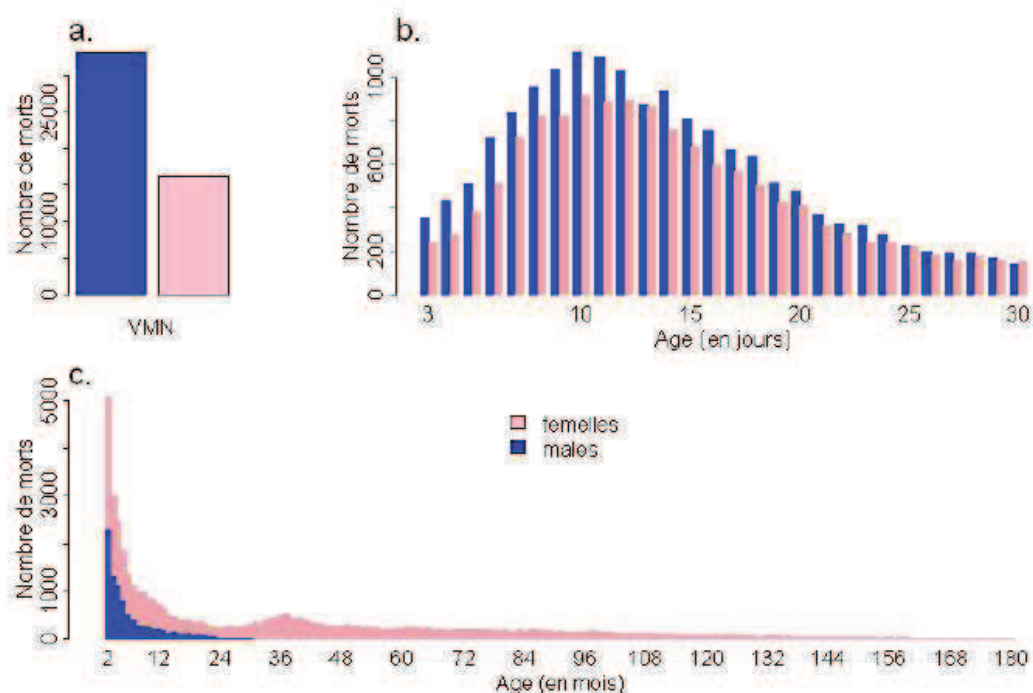


Figure 2 : Diagrammes du nombre de bovins morts dans le département du Doubs de 2003 à 2009, par sexe et âge. a. veaux morts-nés (VMN), b. veaux de moins de un mois, c. bovins de plus de un mois (échelle tronquée à 15 ans)

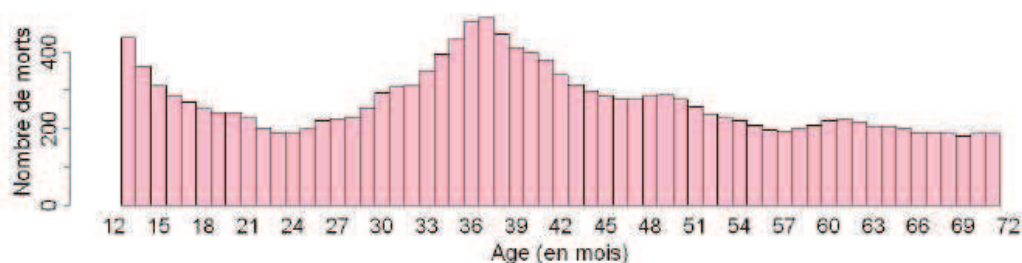


Figure 3 : Diagramme du nombre de bovins femelles mortes dans le département du Doubs de 2003 à 2009, entre 12 et 72 mois (valeurs lissées par moyenne mobile sur trois mois)

2. Catégorisation par âge et type de production

Afin de pouvoir rapporter le nombre de morts à des données de population, les bovins équarris ont été regroupés selon des caractéristiques communes. En raison de la rapide diminution de la part de mâles dans le total des effectifs équarris, le **sexe** n'a pas été retenu comme une variable pertinente lors de la catégorisation des animaux. La **race**, au-delà des aspects génétiques, influence fortement la mortalité des bovins parce qu'elle détermine leur type de production. La catégorisation a donc été réalisée selon le type de production (laitier ou allaitant) déterminé pour chaque animal selon sa race. Le type allaitant a été attribué aux animaux croisés (qui sont très majoritairement destinés à la boucherie) et le type laitier aux races mixtes. Les dix groupes d'**âge** ont quant à eux été déterminés selon des critères zootechniques (voir encadré).

DÉFINITION DES CATÉGORIES D'ÂGE Les dix catégories d'âge ont été définies afin de représenter diverses étapes de la carrière d'un bovin, au cours desquelles l'animal est exposé à des risques de mortalité différents. La catégorie de 2 à 3,5 ans correspond par exemple à l'intervalle dans lequel 80% des femelles vêlent pour la première fois.

Définition des catégories d'âge en jours

Cat.	inf_7j	7j_1m	1_2m	2_6m	6_1a	1_2a	2_3,5a	3,5_5a	5_10a	sup_10a
Age en j	0-7	8-30	31-60	61-180	181-365	366-730	731-1280	1281-1825	1866-3650	> 3650

Finalement la catégorisation a abouti à vingt groupes populationnels, définis selon dix catégories d'âge et deux types de production.

Les taux et risques de mortalité ont été estimés de façon détaillée pour l'année 2009. Les effectifs de mortalité dans chacun des groupes (Tableau 1) en 2009 sont représentés sur la Figure 4. Ces effectifs de mortalité ne sont pas rapportés à un dénominateur et dépendent donc entièrement de la population du département (composée en 2009 respectivement de 12.1% de bovins allaitants et 87.9% de bovins laitiers).

Tableau 1 : Nombre de bovins morts dans le département du Doubs en 2009, par catégorie d'âge et type de production

	inf_7j	7j_1m	1_2m	2_6m	6m_1a	1_2a	2_3,5a	3,5_5a	5_10a	sup_10a	Total
Allaitant	1007	508	111	216	126	145	114	46	85	53	2411
Laitier	7398	3943	744	1128	670	511	731	518	1081	225	16949
Total	8405	4451	855	1344	796	656	845	564	1166	278	19360

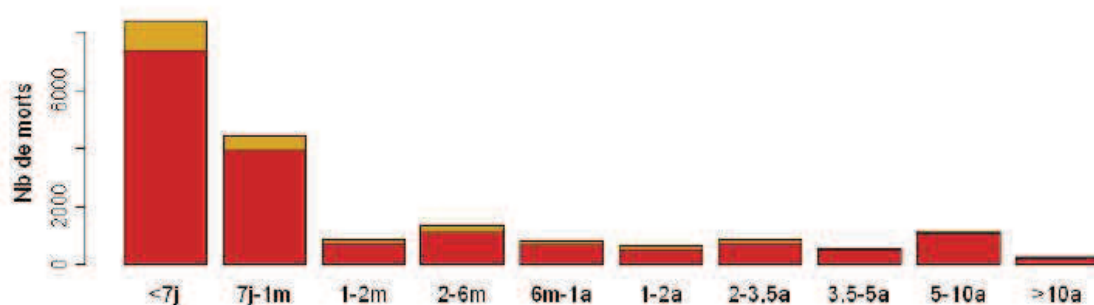


Figure 4 : Diagramme du nombre de bovins morts dans le département du Doubs en 2009, par catégorie d'âge et type de production (rouge = laitiers, jaune = allaitants)

RISQUES ET TAUX DE MORTALITÉ EN 2009

Les méthodes d'estimation des différents indicateurs de la mortalité utilisés dans ce document (taux brut, taux spécifique, taux standardisé, risque de mortalité...) sont détaillées en Annexe.

1. Dénominateur

Les taux de mortalité ont été estimés en rapportant le nombre de morts observées dans une population donnée à la somme des temps de présence de chaque bovin appartenant à cette population. Le temps de participation exact de chaque bovin à une catégorie (en jours) a été calculé à partir de l'ensemble de ses mouvements enregistrés dans la BDNI (voir Annexe 3). Le dénominateur obtenu, exprimé en bovin-jours, permet de calculer sans approximation les taux de mortalité (contrairement aux estimations basées sur des recensements ponctuels). Selon les cas, les taux ont été directement exprimés par 100 000 bovin-jours ou convertis en nombre de morts par 100 bovin-années.

2. Taux brut

En 2009, dans le département du Doubs, le taux brut de mortalité était de **21.99 pour 100 000 bovin-jours** (soit 7.71 pour 100 bovin-années). La même année, le taux brut à l'échelle nationale était de 18.29 100 000 bovin-jours (soit 6.46 pour 100 bovin-années).

En moyenne en 2009, les exploitations du département ont compté 91 bovins sur l'année, et ont notifié 7.3 morts (pour une médiane de 6). Les distributions en 2009 des tailles de troupeaux (population moyenne sur l'année), du nombre de morts notifiées et des taux bruts par exploitation sont représentées sur la Figure 5.

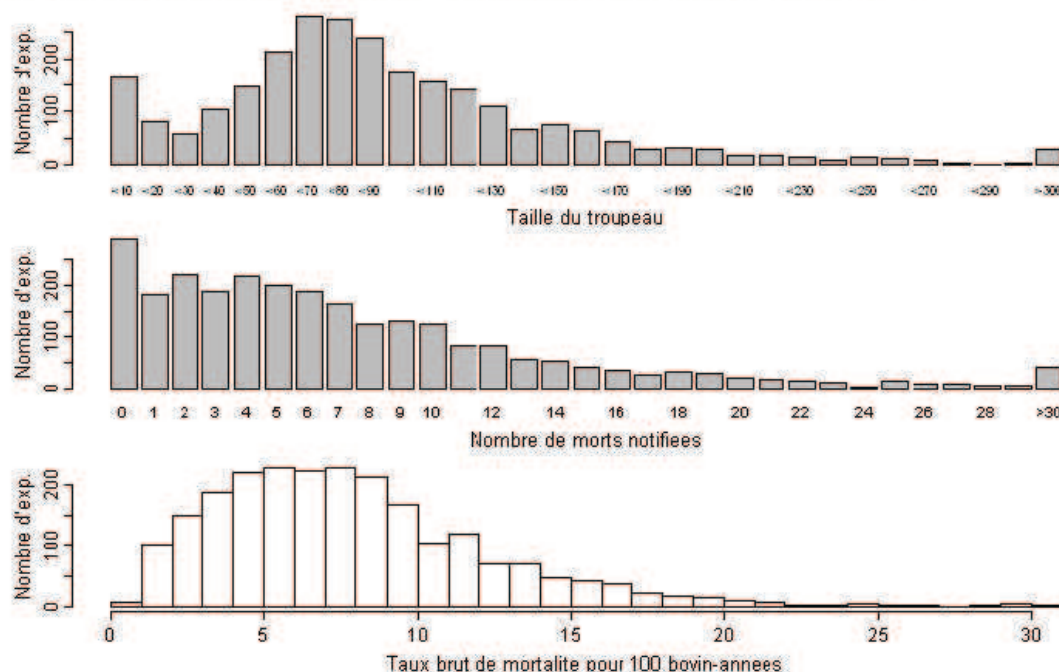


Figure 5 : Distributions de la taille des troupeaux (en nombre moyen de bovins sur l'année), du nombre de morts notifiées et des taux bruts de mortalité par élevage dans le département du Doubs en 2009

Les taux (nuls) correspondants aux 290 exploitations n'ayant notifié aucune mort de bovin pendant l'année n'ont pas été représentés pour améliorer la lisibilité du graphique.

3. Taux spécifiques de mortalité

Contrairement au taux brut, les taux spécifiques sont estimés pour des sous-groupes populationnels bien identifiés.

Les tableaux 2 et 3 indiquent les taux de mortalité (avec leur intervalle de confiance à 95%) par type de production et catégorie d'âge, observés en 2009 dans le département du Doubs.

Le taux de mortalité des veaux allaitants de 1 à 2 mois dans le département était en 2009 de 38.2 [31.1 : 45.3] (Tableau 2). Cette valeur signifie que dans une population constante de ces veaux de 100 000 individus, on s'attendra à observer chaque jour 38.2 morts avec un intervalle de confiance de [31.1 : 45.3].

Les intervalles de confiance sont indiqués pour évaluer la significativité de la différence entre les taux départementaux et nationaux.

À l'échelle nationale, les taux de mortalité estimés chez les bovins laitiers sont plus élevés que ceux des bovins allaitants pour toutes les catégories d'âge sauf celles de 6 mois à 1 an et de 1 à 2 ans où la différence n'est pas significative.

POPULATION MOYENNE La population moyenne au cours d'une période est estimée en divisant le nombre d'animal-jours comptabilisés pendant cette période par le nombre de jours qui la constitue

Tableau 2 : Population moyenne (Pop.moy) et taux de mortalité (Taux.dep) dans le département du Doubs, et taux national (Taux.nat) en 2009 en cheptel allaitant. Les taux sont donnés par 100 000 bovin-jours.

Cat.age	Pop.moy	Taux.dep	Taux.nat
inf_7j	334	882 [828 : 937]	652 [649 : 654]
7j_1m	755	194.2 [177.4 : 211.1]	81.8 [81.2 : 82.3]
1_2m	833	38.2 [31.1 : 45.3]	31 [30.7 : 31.3]
2_6m	3123	19.4 [16.8 : 21.9]	14.7 [14.6 : 14.8]
6m_1a	4141	8.4 [7 : 9.9]	8.3 [8.3 : 8.4]
1_2a	6683	5 [4.2 : 5.9]	4.9 [4.8 : 4.9]
2_3.5a	5250	5 [4.1 : 5.9]	4.5 [4.5 : 4.6]
3.5_5a	1992	5.9 [4.2 : 7.5]	4.8 [4.8 : 4.9]
5_10a	3068	7.6 [6 : 9.2]	5.3 [5.3 : 5.4]
sup_10a	702	18.5 [13.5 : 23.5]	13.8 [13.7 : 14]

Tableau 3 : Population moyenne (Pop.moy) et taux de mortalité (Taux.dep) dans le département du Doubs, et taux national (Taux.nat) en 2009 en cheptel laitier. Les taux sont donnés par 100 000 bovin-jours.

Cat.age	Pop.moy	Taux.dep	Taux.nat
inf_7j	1847	1073 [1049 : 1097]	1149 [1145 : 1154]
7j_1m	3898	266.6 [258.2 : 274.9]	168.1 [167.1 : 169.2]
1_2m	4075	49.3 [45.7 : 52.8]	46.8 [46.3 : 47.3]
2_6m	15629	19 [17.9 : 20.2]	20.6 [20.4 : 20.7]
6m_1a	21874	8.1 [7.5 : 8.8]	9.6 [9.5 : 9.7]
1_2a	40280	3.4 [3.1 : 3.7]	4.6 [4.6 : 4.7]
2_3.5a	46404	4.3 [4 : 4.6]	7.7 [7.7 : 7.8]
3.5_5a	29599	4.6 [4.2 : 5]	9.3 [9.2 : 9.4]
5_10a	39714	7.3 [6.8 : 7.7]	14 [13.9 : 14.1]
sup_10a	3485	16.6 [14.4 : 18.8]	23.7 [23.3 : 24.1]

NB : Les taux de mortalité spécifiques ne sont pas présentés par 100 bovin-années, mais par 100 000 bovin-jours. En effet, des taux en bovin-années n'ont pas de sens biologique pour les catégories d'animaux de moins de 1 an (un veau ne peut pas avoir moins de 7 jours pendant un an).

4. Risques de mortalité

Le risque de mortalité peut être déduit du taux de mortalité (cf. Annexe 1). La forme de cet indicateur est plus familière (il s'agit d'un pourcentage), mais son interprétation est en revanche plus délicate. En effet, le risque de mortalité correspond à la probabilité qu'un animal de mourir dans une catégorie d'âge sachant qu'il l'a atteinte, et dépend donc de la durée de la catégorie d'âge en question. La signification du risque de mortalité annuel moyen, représenté par catégorie d'âge et type de production sur la Figure 6, est différente pour les catégories d'âge inférieures à un an, et celles supérieures à un an (cf. Annexe 1).

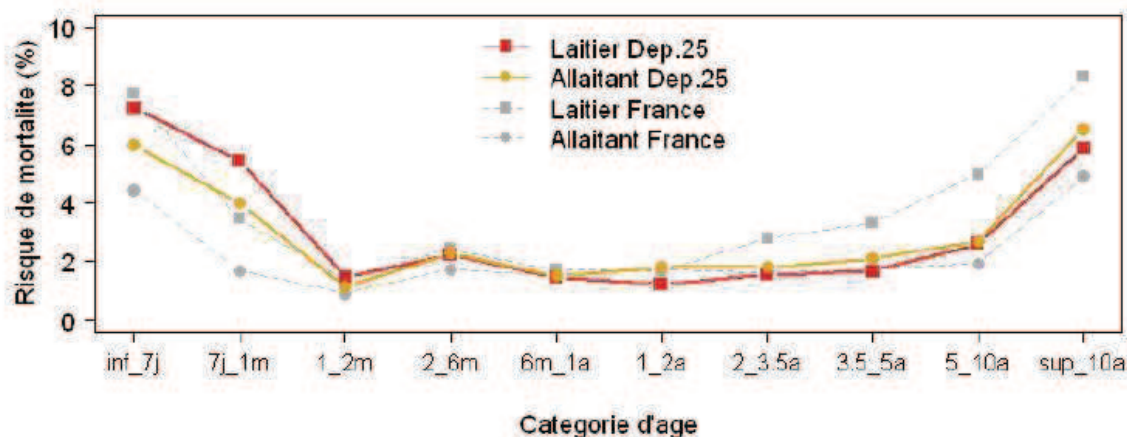


Figure 6 : Risques de mortalité annuels moyens par catégorie d'âge et type de production en France et dans le département du Doubs en 2009

Tableau 4 : Valeurs des risques de mortalité annuels moyens par catégorie d'âge et type de production en France dans le département du Doubs en 2009

Cat. age	Allaitant Dep.25	Allaitant Nat.	Laitier Dep.25	Laitier Nat.
inf_7j	5.99 [5.63 : 6.35]	4.46	7.24 [7.08 : 7.39]	7.73
7j_1m	4 [3.66 : 4.34]	1.70	5.44 [5.28 : 5.61]	3.47
1_2m	1.14 [0.93 : 1.35]	0.93	1.47 [1.36 : 1.57]	1.39
2_6m	2.3 [1.99 : 2.6]	1.75	2.26 [2.13 : 2.39]	2.44
6m_1a	1.53 [1.26 : 1.79]	1.51	1.47 [1.36 : 1.59]	1.74
1_2a	1.82 [1.53 : 2.12]	1.77	1.22 [1.11 : 1.32]	1.68
2_3.5a	1.81 [1.48 : 2.13]	1.63	1.55 [1.44 : 1.67]	2.79
3.5_5a	2.11 [1.51 : 2.72]	1.75	1.68 [1.54 : 1.82]	3.34
5_10a	2.72 [2.15 : 3.29]	1.92	2.62 [2.47 : 2.77]	4.99
sup_10a	6.54 [4.82 : 8.22]	4.92	5.87 [5.13 : 6.62]	8.29

À l'échelle nationale, les risques de mortalité les plus élevés s'observent chez les veaux de moins de 7 jours et chez les vaches de plus de 10 ans, tandis que les animaux de 6 mois à 2 ans sont exposés aux risques de mortalité les plus faibles. Les jeunes veaux laitiers ont des risques de mortalité plus élevés que les veaux allaitants au même âge. Cette différence s'estompe à partir de 1 mois jusqu'à un minimum entre 6 mois et 2 ans. L'écart marqué chez les jeunes veaux peut être lié à la valeur économique moindre des veaux laitiers par rapport aux veaux allaitants. La différence réduite observée entre 6 mois et 2 ans pourrait quant à elle être expliquée par le fait qu'à ces âges, les conditions d'élevage des animaux diffèrent peu selon le type de production. À partir de 2 ans les risques de mortalité augmentent chez les bovins laitiers alors qu'ils restent stables chez les bovins allaitants. L'entrée en production (vêlage et lactation) semble donc un facteur de risque de mortalité plus important pour les animaux de type laitier que pour les animaux de type allaitant.

COMPARAISON AVEC LES AUTRES DÉPARTEMENTS

1. Indice comparatif de mortalité

Pour comparer la mortalité dans des zones de populations différentes, on ne peut pas utiliser le taux brut de mortalité, car il ne tient pas compte des différences de structure entre ces populations (pyramide des âges et type de production). Par exemple un département à dominante laitière peut présenter un taux brut de mortalité plus élevé qu'un département à dominante allaitante, alors que ses taux de mortalité spécifiques laitiers et allaitants sont tous deux plus faibles que les taux de mortalité spécifiques laitiers et allaitants du second département.

Pour éliminer cet effet, on utilise des taux standardisés comme l'indice comparatif de mortalité, ou SMR (pour Standardized Mortality Ratio). Le détail du calcul de cet indicateur synthétique construit à partir des taux spécifiques est donné en annexe. Les variables de standardisation utilisées pour l'estimation des SMR ont été l'âge (dix catégories) et le type de production (laitier et allaitant). La population de référence est la population bovine nationale en 2009.

SMR Le SMR est le rapport entre le nombre de morts observées dans une population et le nombre de morts attendues dans cette population, si ses taux de mortalité spécifiques étaient les mêmes que ceux de la population de référence.

2. Valeurs des SMR départementaux en 2009

Le SMR du département du Doubs en 2009 était de **88.6 [87.3 : 90]**, c'est à dire qu'on a observé 11.4 % de morts en moins par rapport à ce qui aurait été attendu si les taux de mortalité spécifiques dans le département avaient été identiques aux taux spécifiques de la population de référence. Les valeurs obtenues pour les autres départements, ainsi que leur intervalle de confiance, sont représentées sur la figure 7.

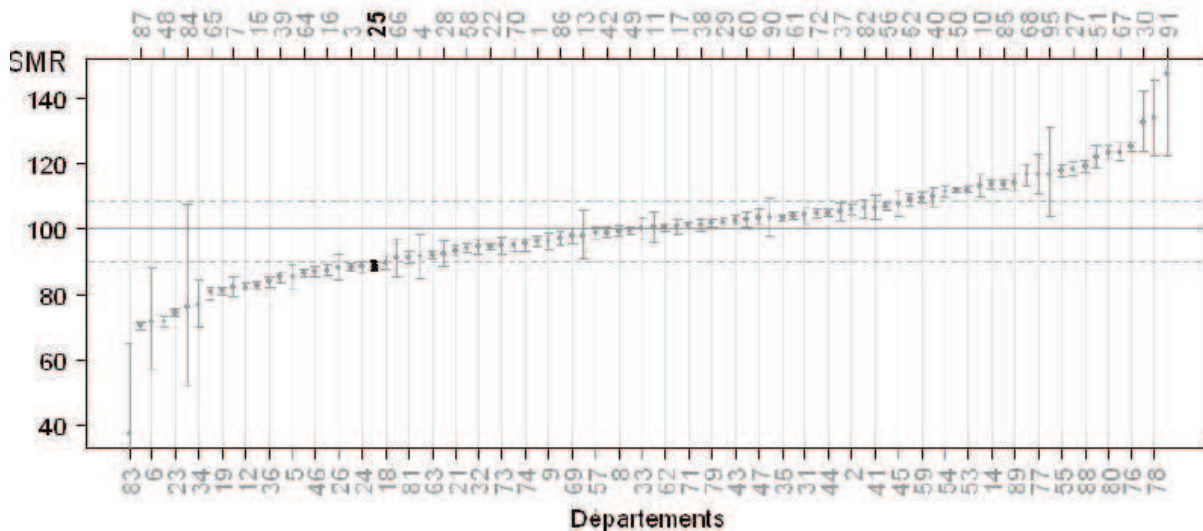


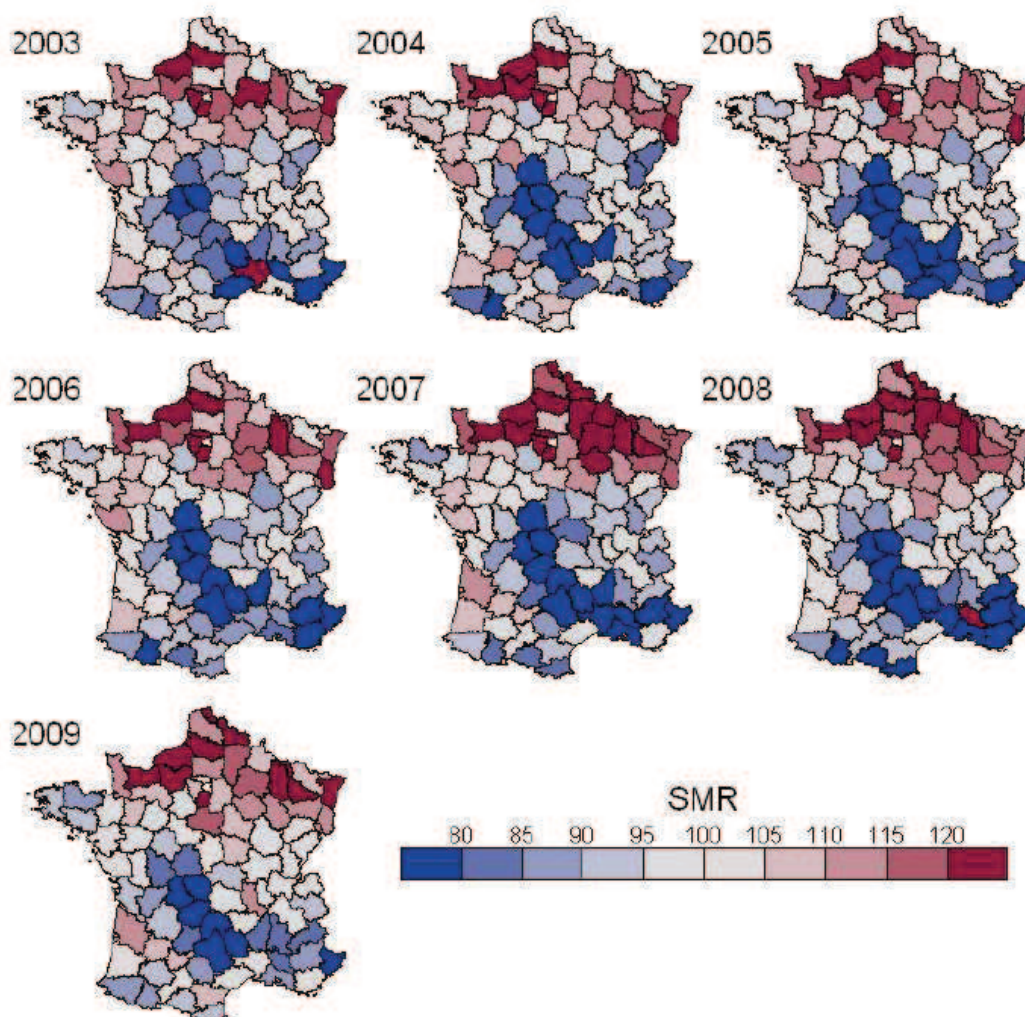
Figure 7 : Indices comparatifs de mortalité (SMR) départementaux (ordonnés par ordre croissant) et intervalles de confiance à 95%. Le département du Doubs est représenté en gras. Les 3 lignes horizontales (de bas en haut: le premier quartile, la médiane et le troisième quartile) divisent les départements en quatre groupes de taille équivalente.

3. Cartographie

Les cartes sur la Figure 8 montrent la répartition spatiale des indices comparatifs de mortalité de 2003 à 2009. Cette répartition est visiblement caractérisée par l'existence d'un gradient Nord-Sud, avec une ligne Nantes-Colmar au nord de laquelle les SMR sont plus élevés.

Il faut toutefois noter que certaines valeurs extrêmes ne sont en réalité l'expression que d'une variation minimale de la mortalité dans des départements où la population bovine est faible. Ainsi le SMR observé en 2009 dans le Val d'Oise (95) atteignant 116.8 n'est en réalité pas significativement différent du SMR de 76.1 observé dans le Vaucluse (84), comme le montrent les valeurs des intervalles de confiance indiqués à la Figure 7.

Figure 8 : Cartographie des indices comparatifs de mortalité (SMR) par département de 2003 à 2009 (standardisation sur l'âge et le type de production).



ÉVOLUTION TEMPORELLE

1. Mortalité annuelle

De 2003 à 2009, **17 077** morts de bovin ont été notifiées annuellement en moyenne par les éleveurs du département du Doubs. Le nombre annuel de cadavres équarris est passé de 16 170 en 2003, à 19 360 en 2009, tandis que la population moyenne passait de 238 432 à 237 326 bovins. En 2003, les bovins laitiers représentaient 89,4% de la population et 88,3% des cadavres du département. En 2009, ces proportions sont passées à 87,9% et 87,5% respectivement (Figure 9). L'année 2009 est l'année de la période considérée au cours de laquelle le plus grand nombre de notifications de mortalité a été enregistré (19 360).

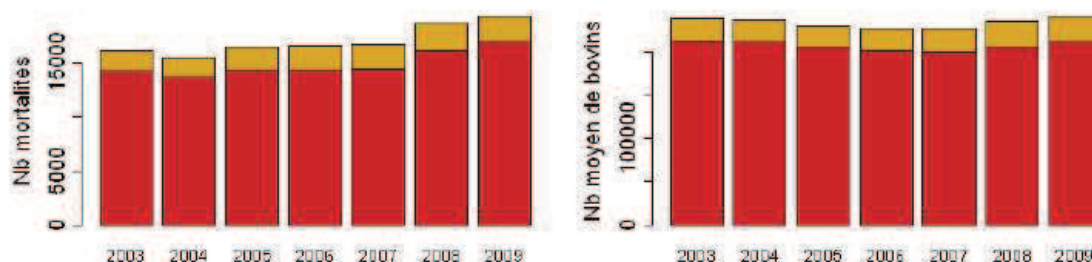


Figure 9 : Nombre de mortalités et population moyenne par an et type de production dans le département du Doubs

Les taux de mortalité annuels et leur intervalle de confiance ont été calculés par catégorie d'âge et type de production (leurs valeurs sont présentées à l'Annexe 5).

L'évolution annuelle des taux de mortalité a été modélisée afin d'identifier les catégories pour lesquelles il existe une tendance (croissante ou décroissante) statistiquement significative de 2003 à 2009. La valeur de la tendance, lorsqu'elle existe, représente le rapport entre les taux de mortalité de deux années successives entre 2003 et 2009.

Dans le cheptel laitier du département, les taux de mortalité sont significativement croissants dans les catégories des animaux de moins de 7 jours, 7 à 30 jours (avec des tendances respectivement de 1.02, 1.058).

Dans le cheptel allaitant du département, les taux de mortalité sont significativement croissants dans les catégories des animaux de moins de 7 jours, 7 à 30 jours (avec des tendances respectivement de 1.032, 1.038).

Il faut toutefois noter qu'étant donné le nombre limité d'années prises en compte, les tendances observées ne reflètent pas forcément des phénomènes de fond, mais peuvent résulter d'événements ponctuels qui ont marqué le cheptel du département. Par exemple, certains départements ont des taux de mortalité significativement croissants parce qu'ils ont été touchés par l'épizootie de Fièvre catarrhale ovine à la fin de la période d'étude (en 2007 ou 2008).

Par ailleurs, la description des données de la BDNI a été limitée aux notifications transmises après 2003, parce que le système de centralisation nationale n'a été considéré comme pleinement fonctionnel qu'à partir de cette période. Toutefois il est possible que dans certains départements, les règles et la qualité des notifications (notamment concernant la mortalité des veaux) ont continué à évoluer pendant cette période, ce qui a pu avoir un impact sur l'évolution des taux de mortalité estimée à partir de ces déclarations.

2. Mortalité hebdomadaire

De 2003 à 2009, **327** morts de bovins ont été en moyenne notifiées par semaine dans le département du Doubs. Le nombre hebdomadaire de morts notifiées est très variable (écart type de 100). Une grande part de cette variabilité est due à l'augmentation saisonnière de la mortalité des veaux et des mères observée lors de la saison de vêlage.

La saisonnalisation des vêlages fait par ailleurs varier l'âge de la population globale au cours de l'année (avec une population plus jeune au moment de la saison des vêlages). La série des SMR hebdomadaires (calculés selon les mêmes critères que précédemment mais à l'échelle de la semaine) permet d'apprécier la saisonnalité et l'évolution de la mortalité, une fois les variations de population (pyramide des âges et type de production) prises en compte. (Figure 10).

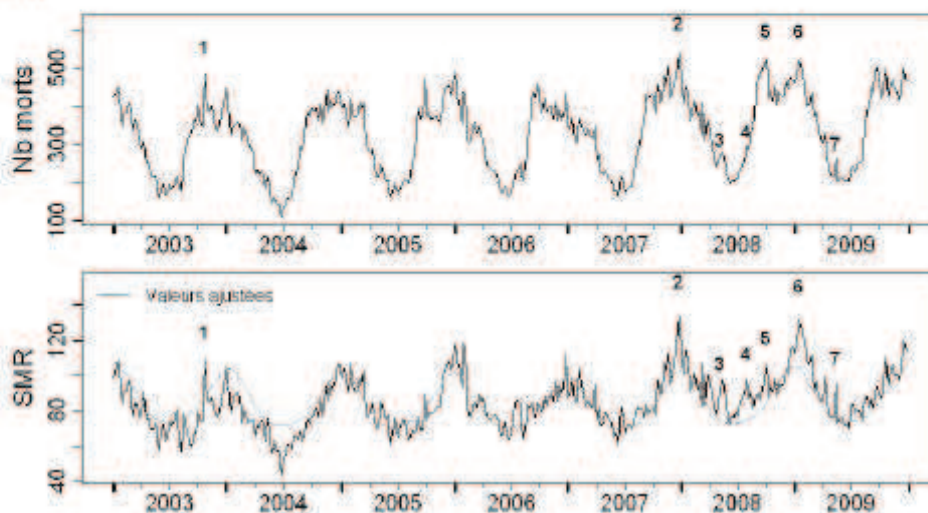


Figure 10 : Séries du nombre de notifications de mortalité (haut) et du SMR (bas) hebdomadaires dans le département du Doubs, de 2003 à 2009

Les causes expliquant la persistance de la saisonnalité dans les séries de taux de mortalité, c'est à dire une fois les fluctuations de population prises en compte, n'ont pas été explorées. Mais il est probable qu'une grande part de l'augmentation saisonnière du taux de mortalité soit due à la mortalité post-partum des génisses et des vaches (pendant la ou les saisons de vêlage dans le département). D'autres facteurs peuvent aussi avoir des effets saisonniers sur la mortalité, comme les facteurs météorologiques (température et hygrométrie), les facteurs relatifs à la conduite d'élevages (mise à l'herbe, fin de l'hiver dans les élevages avec des stocks de foin insuffisants etc.).

Un modèle mathématique a été ajusté sur chaque série temporelle afin d'estimer le nombre attendu de morts par semaine en fonction de la population présente et de la saison (voir méthodologie en Annexe). **Les dates où le nombre de morts observé s'écarte significativement de la valeur ajustée par le modèle ont été signalées par des nombres arabes.**

7 pics ont été identifiés sur la courbe de mortalité de la population globale (Figure 10). La même méthodologie a été appliquée aux courbes par catégorie d'âge et type de production (Figure 11), ce qui a permis d'identifier 29 pics de surmortalité au sein des dix catégories définies.

Les dates associées aux pics de surmortalité sont indiqués à l'Annexe 6.

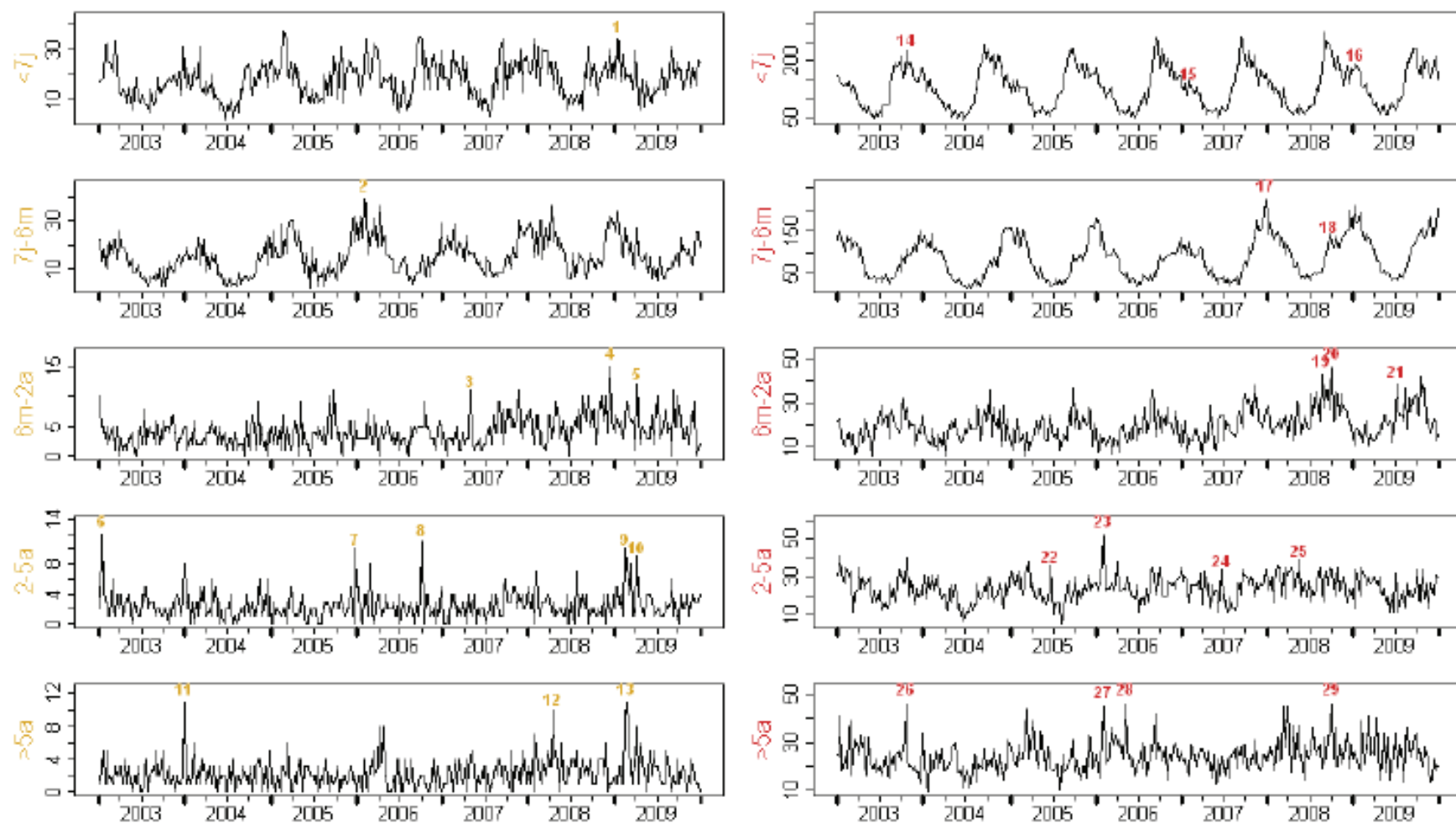


Figure 11 : Fluctuations hebdomadaires du nombre de bovins morts par catégorie d'âge et type de production dans le département du Doubs, de 2003 à 2009

Annexe IV : Exemple de bilan de mortalité à l'échelle de d'exploitation



Bilan mortalité 2011 Élevage n°XXXXXX – Cheptel laitier



Ce document est un prototype. Il propose une synthèse de la mortalité des bovins de races laitières dans votre élevage (n° EDE XXXXXX) de 2001 à 2011. Les valeurs présentées sont issues de la Base de données nationale d'identification (BDNI) qui contient toutes les notifications de mouvements bovins.

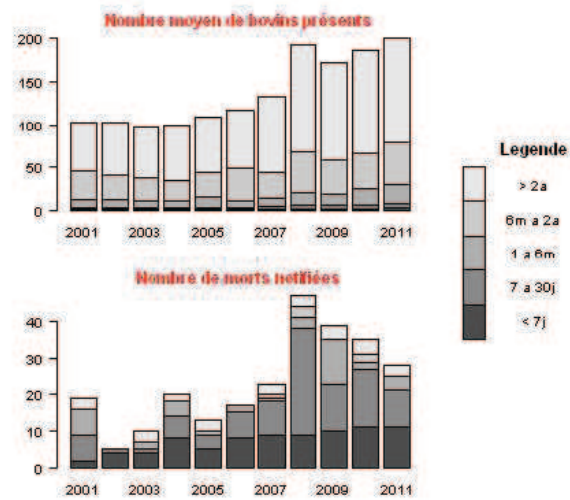
Nombre moyen de bovins présents dans votre élevage et nombre de morts par catégorie d'âge, en 2011

	Nombre moyen de bovins présents *	Nombre de morts notifiées
Plus de 2 ans	122	3
6 mois à 2 ans	48.6	0
1 à 6 mois	22.5	4
7 à 30 jours	4.8	10
Moins de 7 jours	2.4	11
TOTAL	200.3	28

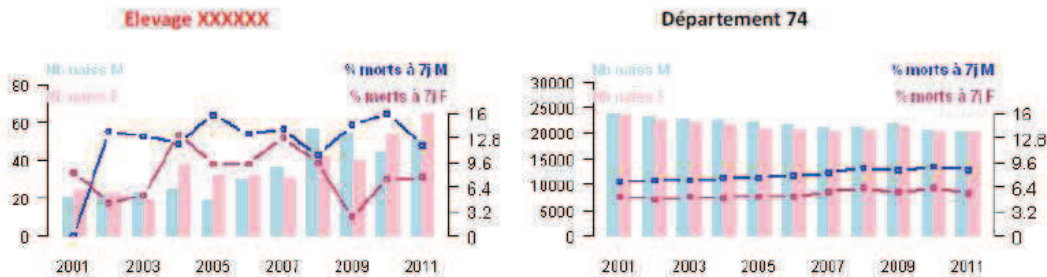
*somme des jours de présence sur l'année de chaque bovin détenu / 365

En 2011, le cheptel laitier de votre élevage présente un taux de mortalité brut de **13** morts pour 100 bovins-années. La moyenne du département en 2011 est de 6 pour 100 bovins-années (min : 0 - max : 36.4).

Evolution du nombre moyen de bovins présents et de morts par catégorie d'âge dans votre élevage de 2001 à 2011



Nombre de naissances (barres) et proportions (points) de veaux laitiers déclarés morts avant 7 jours (veaux morts nés compris) par année et par sexe dans votre élevage et dans le département, de 2001 à 2011.



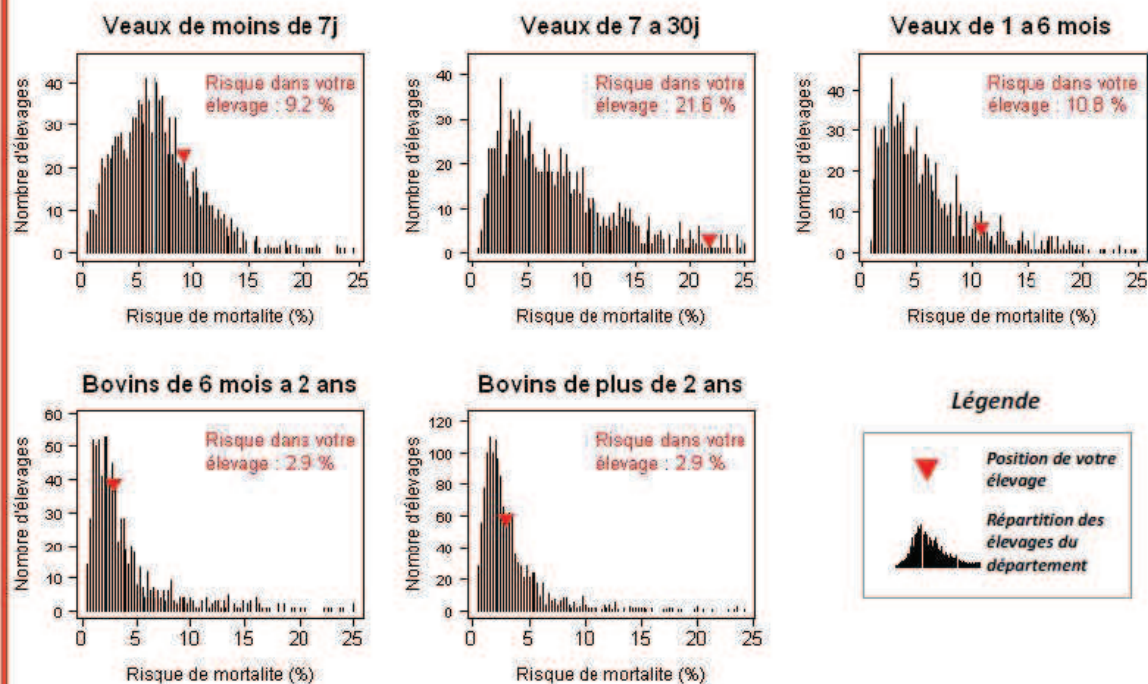
Proportion de veaux laitiers morts à 2 et 7 jours dans votre élevage au cours des 5 dernières années (2007 - 2011), et comparaison avec les 63 élevages de votre département ayant déclaré le même nombre de naissances (plus ou moins 10%) que votre élevage au cours de cette période

	Mâles		Femelles	
	Votre élevage	Moyenne dans le groupe de comparaison [min ; max]	Votre élevage	Moyenne dans le groupe de comparaison [min ; max]
% morts avant 2J	6.2%	8.2% [1.6- 14.4]	3.9 %	5.3 % [1.7- 11]
% morts avant 7J	13.2%	10.6% [2.2- 17]	7.8 %	7.1 % [3.5- 13.9]

RISQUE DE MORTALITÉ PAR CATÉGORIE D'ÂGE

Définition : le **risque de mortalité annuel moyen** correspond à la probabilité qu'a un animal de mourir au cours de l'année dans sa catégorie d'âge. Par exemple les veaux de type laitier nés dans votre élevage ont une probabilité de 9.2% de mourir avant 7 jours (cette estimation prend en compte les veaux morts nés), les bovins de type laitier de plus de 2 ans ont une probabilité de 2.9% de mourir dans l'année, etc.

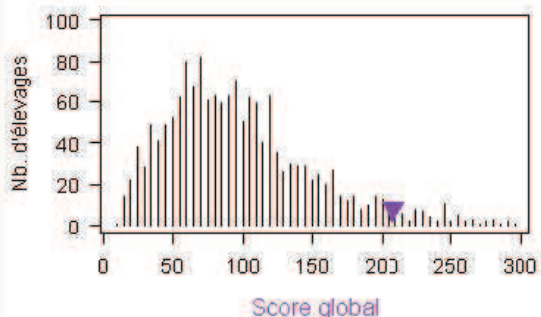
Répartition des élevages* du département en fonction du risque de mortalité annuel moyen au cours des 5 dernières années (2007 - 2011) dans chaque catégorie d'âge. La position de votre élevage est indiquée par un triangle rouge.



SCORE GLOBAL DE MORTALITÉ

Définition : le **score global** a été calculé pour chaque élevage en divisant le nombre total de morts observé dans l'élevage par le nombre de morts qui était attendu. Le nombre de morts attendu est estimé en appliquant les taux de mortalité départementaux au nombre de bovins présents dans l'élevage (par catégorie d'âge). Un score de 100 indique que l'élevage a une mortalité équivalente à celle du département.

Répartition des élevages* du département en fonction du score global sur les 5 dernières années (2007 - 2011). La position de votre élevage est indiquée par un triangle violet.



Le score global de mortalité de votre élevage sur la période 2007 - 2011 est de **208.2**. Cela signifie qu'au cours de cette période, la mortalité dans votre élevage a été supérieure à la mortalité du département de 108.2%. Selon ce score, votre élevage se place au 1 519^{ème} rang des 1 673 élevages* du département classés de l'élevage au score de mortalité le plus élevé au moins élevé.

*élevages ayant déclaré au moins une mort sur la période 2007 - 2011

Annexe V : Exemple de tableau de bord (département du Puy de Dôme) des demandes d'enlèvements

OMAR

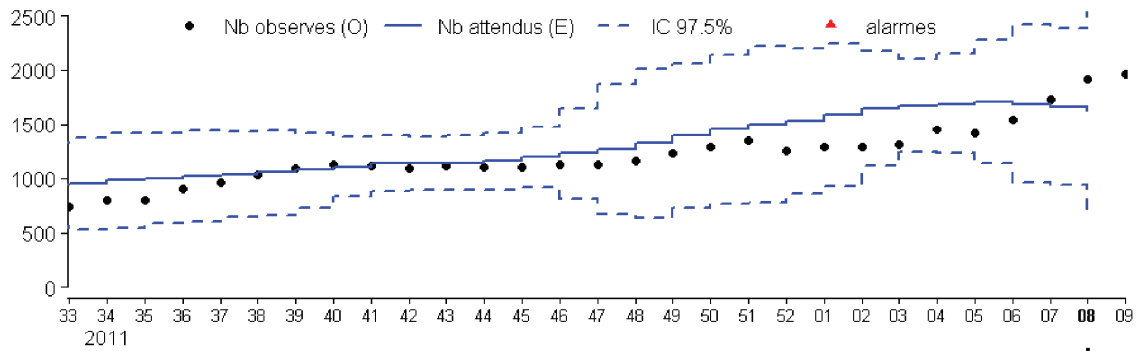


Tableau de bord EDI-SPAN : Appels (EDE)

Departement 23

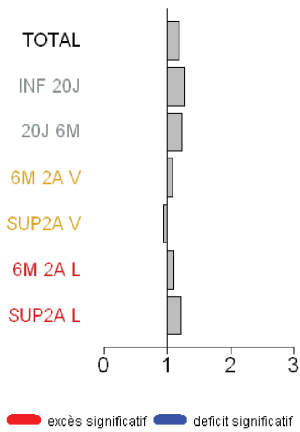
02/03/2012

Nombre hebdomadaire d'appels à l'équarrissage reçus et attendus* au cours des 26 dernières semaines

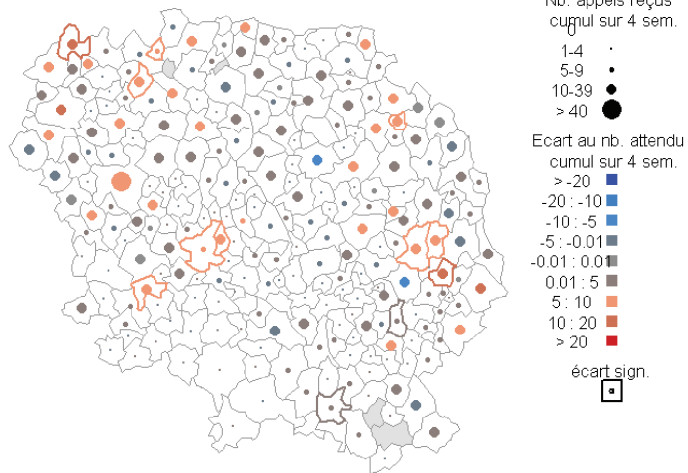


Semaine 08-2012
(du 20/02/2012 au 26/02/2012)

Ratio d'appels reçus sur attendus*
par âge et type de production



Ratio d'appels reçus sur attendus*
par commune



	Sem n-52	Sem n-2	Sem n-1	Sem n
Nb. d'appels bovins	445	477	562	537
Nb. d'appels veaux < 20J	247	261	313	321
Nb. d'appels veaux 20J-6M	65	103	96	77
Nb. d'appels bovins 6M-2A	35	37	54	38
Nb. d'appels bovins > 2A	94	74	96	99
Nb. d'appels bisons	4	2	3	2
Nb. d'élevage appelants	412	415	495	498
Nb. de CEM transmetteurs	14	13	13	14

* Méthode de la moyenne historique

Annexe VI : De quoi meurent les bovins adultes ?

Le Nouveau Praticien Vétérinaire, vol 4, n°18, Mai Août 2011

actualités en perspective

de quoi meurent les bovins adultes ?

★ résultats originaux

Plutôt rare, donc peu documentée, la mortalité hors abattage des bovins adultes a pourtant des conséquences importantes pour l'élevage. Si les principales causes de mortalité sont connues des éleveurs et de leurs vétérinaires, elles sont en revanche mal quantifiées. L'analyse des données issues des "visites mortalité" réalisées en 2000-2001 dans le grand ouest de la France a permis de décrire les principales causes de mort des bovins adultes dans cette région.



Le taux de mortalité est plus élevé chez les bovins laitiers (30,6 pour 1000 bovins/années) que chez les allaitants (photo Anses Lyon).

La mortalité hors abattage des bovins adultes est un phénomène moins fréquent, donc moins étudié, que la mortalité des veaux [1, 5, 7]. Pourtant, elle a des conséquences graves pour l'éleveur : perte de production, non valorisation de la carcasse, coût du remplacement, perte génétique, préjudice moral, ... [6].

- Connaître et quantifier les principales causes de mortalité dans les élevages de bovins en France est donc important pour évaluer et, éventuellement, pour améliorer la conduite de ces élevages [3].
- Cette étude des causes de mortalité chez les bovins adultes a été réalisée à partir des données recueillies dans le cadre du programme pilote de surveillance active de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) mené en 2000-2001 dans le grand ouest de la France (encadré 1).

Encadré 1 - Source des données sur la mortalité des bovins adultes

- Les données exploitées ont été recueillies dans le cadre du programme pilote de surveillance active de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), qui s'est déroulé dans trois régions du grand ouest : Basse Normandie, Bretagne et Pays de la Loire, d'août 2000 à mars 2001 (avec une interruption en janvier 2001, due au démarrage du dépistage systématique en abattoir des bovins de plus de 30 mois) [2].
- Au cours de cette période, les éleveurs ont été tenus de déclarer à leur vétérinaire sani-

LES PRINCIPALES CAUSES DE MORT

- Parmi les 47 210 fiches d'information et de suivi de la mortalité (FISM) enregistrées dans la base de données, le diagnostic n'a pas été indiqué pour environ un quart d'entre elles (23 p. cent). Les autres ont été catégorisées à l'aide d'un algorithme de classification (encadré 2).
- Le nombre de morts notifiées et les taux de mortalité sont indiqués par catégorie et par type de production (bovins allaitants, bovins laitiers) dans le tableau 1.

Les causes de mortalité les plus fréquentes

- Il existe une différence statistiquement significative dans la répartition des différentes causes de mort selon le type de production, allaitant ou laitier (figure 1).

taire la mort de tous les bovins âgés de plus de 24 mois. Celui-ci devait alors systématiquement réaliser une "visite de mortalité", et renseigner une fiche d'information et de suivi de la mortalité (FISM).

- Les cadavres étaient ensuite équarris après un prélèvement de tissu nerveux, afin de réaliser un test de dépistage de l'ESB.
- Ces fiches d'information (FISM) et les résultats du dépistage ont été saisis dans une base de données ESB, conservée au laboratoire de l'Anses Lyon.

Virginie Boissard^{1,2}
Didier Calavas¹
Marie-Anne Arcangoli²
Émilie Gay¹
Jean-Baptiste Perrin^{1,3}

¹ Anses - Laboratoire de Lyon

Unité Epidémiologie

² VetAgro Sup, Lyon

³ INRA, UR346 Epidémiologie Animale

Objectif pédagogique

Connaitre les principales causes de mortalité chez les bovins adultes en fonction du type de production des animaux.

Essentiel

Un grand nombre de causes de mort renseignées ne correspond pas à un diagnostic formel, mais à des symptômes ou à des hypothèses non spécifiques.

Les vèlages difficiles, les accidents et les syndromes entériques sont les trois premières causes de mortalité rapportées dans les deux types de production.

Au total, plus de 30 p. cent des morts enregistrées ont un diagnostic inconnu ou non renseigné.

ACTUALITÉS

Crédit Formation Continue :
0,05 CFC par article

actualités en perspective - de quoi meurent les bovins adultes ?

Encadré 2 - Classification des causes de mort

- Les causes de mort ont été renseignées de manière libre par les vétérinaires, auxquels aucune instruction particulière n'avait été donnée pour ce champ.
- La classification des causes de mort a été effectuée grâce à un algorithme analysant les termes saisis, et regroupant dans une même catégorie ceux relatifs à une cause identique ou proche.
- Lorsque plusieurs causes de mort étaient

renseignées, une seule a été retenue, afin de simplifier l'interprétation des résultats. Pour cela, les diagnostics proposés ont été hiérarchisés selon les connaissances médicales des auteurs, et après une lecture attentive des champs "diagnostic" de la base.

- Les catégories (12) attribuées en priorité par l'algorithme ont été celles correspondant à des causes bien identifiées (par exemple, paratuberculose, fièvre de lait,

corps étranger, etc.), devant les catégories associées à des causes moins spécifiques, voire à des effets ou à des conséquences (par exemple, vache couchée, péritonite, etc.).

Exemple : le diagnostic saisi "insuffisance cardio-respiratoire par corps étranger" a été affecté à la catégorie "corps étranger", en considérant que le corps étranger était la cause principale de la mort, et l'insuffisance cardio-respiratoire sa conséquence.

Tableau 1 - Nombre de morts notifiées pendant la période d'étude et taux de mortalité par cause et par type de production

Causes de mort	allaitants		Bovins laitiers	
	Population moyenne sur la période : 1,2 millions d'animaux	Taux de mortalité*	Population moyenne sur la période : 2,5 millions d'animaux	Taux de mortalité*
• Autres causes	2 303 (18 %)	4,06	5 703 (16,6 %)	5,08
• Vêlage difficile	1 832 (14,3 %)	3,23	3 920 (11,4 %)	3,49
• Accident	1 467 (11,5 %)	2,59	4 602 (13,4 %)	4,1
• Syndrome entérique	1 020 (8 %)	1,8	2 004 (5,8 %)	1,78
• Cause inconnue	992 (7,8 %)	1,75	1 517 (4,4 %)	1,35
• Mauvais état général	522 (4,1 %)	0,92	984 (2,9 %)	0,88
• Boiterie	338 (2,6 %)	0,6	1 413 (4,1 %)	1,26
• Problème respiratoire	299 (2,3 %)	0,53	842 (2,4 %)	0,75
• Corps étranger	241 (1,9 %)	0,43	816 (2,4 %)	0,73
• Problème cardiaque	164 (1,3 %)	0,29	753 (2,2 %)	0,67
• Occlusion, torsion digestive	143 (1,1 %)	0,25	1 368 (4 %)	1,22
• Mammites	74 (0,6 %)	0,13	1 816 (5,3 %)	1,62
• Fièvre de lait	40 (0,3 %)	0,07	1 251 (3,6 %)	1,11
• Non renseignée	3 349 (26,2 %)	5,91	7 437 (21,6 %)	6,62
• Totaux	12 784 (100 %)	22,55	34 426 (100 %)	30,6

* Par 1000 bovins-années

Essentiel

Seuls les taux associés aux causes de mortalité "mauvais état général", "cause inconnue", et "syndromes entériques" sont supérieurs chez les bovins allaitants ; toutes les autres causes ont des taux supérieurs chez les bovins laitiers.

La période hivernale, connue pour être une période à risque chez les jeunes bovins, est aussi à l'origine d'une surmortalité chez les bovins adultes.

Un quart des morts associées à un syndrome entérique est attribué à la paratuberculose.

- Si l'on omet la catégorie "autres causes" (qui regroupe des causes soit peu informatives, soit bien identifiées, mais chacune en nombre insuffisant pour être représentées), les vêlages difficiles, les accidents et les syndromes entériques sont les trois premières causes de mortalité rapportées dans les deux types de production.

Les taux de mortalité

- Les taux de mortalité ont été obtenus en rapportant le nombre de morts par cause à la population vivante correspondante (encadré 3).
- Dans la population étudiée (bovins de plus de 2 ans du grand ouest), le taux de mortalité est globalement plus élevé chez les bovins laitiers (30,6 pour 1000 bovins-années) que chez les bovins allaitants (22,55 pour 1000 bovins-années). Cette différence se retrouve pour presque chaque cause de mor-

talité identifiée (figure 2). Seuls les taux associés aux causes "mauvais état général", "cause inconnue" et "syndromes entériques" sont supérieurs chez les bovins allaitants.

FOCUS SUR CERTAINES CATÉGORIES

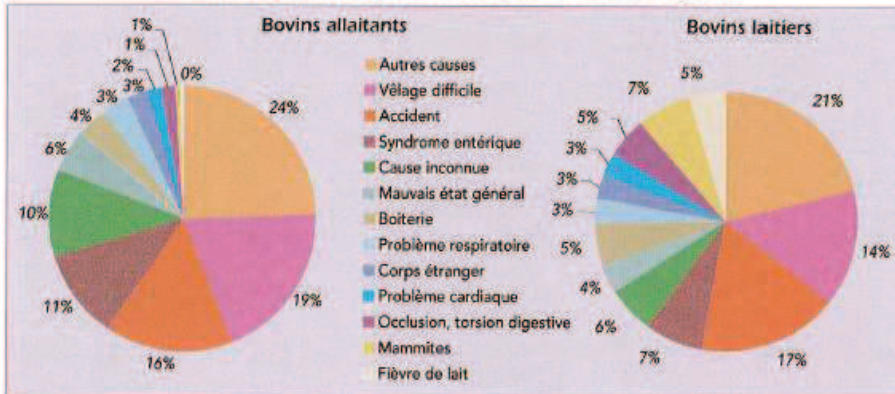
- Certains taux de mortalité plus élevés chez les bovins laitiers sont directement reliés au type de production des animaux. Ainsi, les taux de mortalité par mammite et par fièvre de lait sont respectivement de 1,62 et 1,11 pour 1000 bovins-années chez les bovins laitiers, contre 0,13 et 0,07 chez les bovins allaitants.

L'interprétation d'autres différences importantes, comme celles observées pour le taux de mortalité par accident ou suite à un vêlage difficile, est en revanche moins directe. Les catégories de causes de mort initialement définies ont été subdivisées en sous-

ACTUALITÉS

actualités en perspective - de quoi meurent les bovins adultes ?

Figure 1 - Répartition des différentes causes de mort chez les bovins allaitants et laitiers parmi les 36 424 morts renseignées



groupes plus détaillés, pour aider à l'interprétation des résultats observés.

Les vêlages difficiles

Chez les bovins laitiers, la première cause renseignée parmi les morts associées à un vêlage difficile est un trouble locomoteur post-partum : vache couchée après le vêlage, mais non diagnostiquée comme une fièvre de lait (figure 3). Deux raisons peuvent être avancées :

1. le nombre d'extractions forcées sur disproportion fœto-pelvienne est plus élevé chez les laitiers que chez les allaitants ; ceci entraîne secondairement des difficultés locomotrices, puis un décubitus ;

2. le logement en logettes ou en stabulation entravée, plus fréquent chez les laitiers, aggrave les conséquences d'un décubitus ou de difficultés locomotrices post-partum (d'origine métabolique ou autre) (photo 2).

Chez les bovins allaitants, la première cause correspond aux accidents matriciels (torsion, prolapsus). Ici, il est probable que le manque de suivi (vêlage sans assistance), ou une prédisposition raciale, sans doute liée à la taille des veaux, expliquent ceux-ci.

Le sous-groupe "non spécifié" (figure 3) correspond aux morts de la catégorie "vêlage difficile" pour lesquels les vétérinaires n'ont pas apporté de précisions supplémentaires sur la cause de la mort.

Les accidents

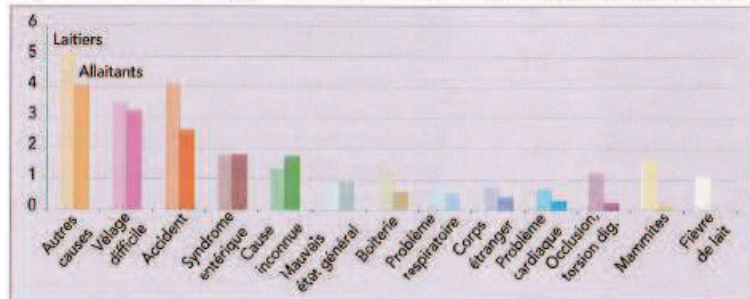
Dans le cas des accidents, en l'absence de consignes précises, les vétérinaires ont indiqué tantôt les circonstances de l'accident (chute, piétinement, noyade, etc.), la nature du traumatisme (fracture, luxation, entorse, ...), ou sa topologie (fémur, jarret, bassin, ...).

Parmi les cas pour lesquels les circonstances de l'accident ont été précisées, 76 p. cent



Le logement en logettes ou en stabulation entravée, plus fréquent chez les laitiers, aggrave les conséquences d'un décubitus (photo F. Lemarchand).

Figure 2 - Taux de mortalité moyen sur la période d'étude (par 1000 bovins-années) par cause de mort en fonction du type de production



des morts accidentelles étaient associées aux installations des exploitations (glissades sur le béton, étranglements au cornadis, etc.), 14 p. cent étaient survenues au pré (chute, noyade, fulguration, etc.), et 10 p. cent lors de transports.

Les syndromes entériques

Parmi les morts associées à un syndrome entérique, le sous-groupe "entérotoxémie" est le plus important chez les bovins allaitants (38 p. cent), et représente un tiers des cas chez les bovins laitiers (figure 4).

Toutefois, certaines entérotoxémies sont certainement à rapprocher des causes inconnues, car il s'agit d'une hypothèse souvent émise pour des bovins retrouvés morts

Encadré 3 - Calcul du taux de mortalité

Le taux de mortalité, exprimé en 1 000 bovins-années, a été calculé en rapportant le nombre de bovins équarris durant la période d'étude à la population vivante moyenne durant cette période.

La population vivante moyenne a été estimée à partir des données BDNI (base de données nationale d'identification) pour la saison suivante (août 2001 à février 2002), les données relatives à la saison 2000-2001 n'étant pas disponibles. L'évolution réduite de la population bovine de plus de 2 ans observée au cours des années suivantes a justifié cette approximation.

L'effectif moyen pendant la période considérée était de 3,8 millions d'animaux de plus de 2 ans, dont un tiers de bovins allaitants, et deux tiers de laitiers.

Essentiel

La majorité des morts au vêlage chez les bovins laitiers sont dues à des troubles locomoteurs post-partum tandis que les troubles matriciels sont prépondérants chez les allaitants.

Essentiel

Le sous-groupe "entérototoxicémie" est le plus important chez les bovins allaitants (38 p. cent), et représente un tiers des cas chez les bovins laitiers.

Tableau 2 - Principales causes de mort regroupées dans la catégorie "autres causes", par ordre de fréquence

Autres causes (8006 morts sur 47210 cas)	Nombre de morts
● Péritonite	- 1259
● Vache couchée*	- 871
● Météorisation	- 717
● Autres hémorragies	- 541
● Tétanie	- 495
● Hépatopathie	- 471
● Infection non spécifiée (abcès, septicémie, phlegmon)	- 464
● Hémorragie digestive, ulcère de la caillette	- 442
● Acidose	- 332
● Problème urinaire	- 299
● Intoxication, envenimation, allergie	- 285
● Phénomène inflammatoire	- 198
● Trouble nerveux	- 195
● Néoplasie	- 188
● Acétonémie	- 176
● Piroplasmose	- 159
● Charbon	- 37
● Listériose	- 36
● Actinobacillose	- 21
● Botulisme	- 18
● Tétanos	- 17
● Actinomycose	- 15
● Alcalose	- 15
● Anaplasmose	- 10
● Suspicion d'ESB	- 6
● Divers	- 739

* Décubitus non explicitement lié à une cause identifiée (par exemple, fièvre de lait ou équasillage)

actualités en perspective - de quoi meurent les bovins adultes ?

Figure 3 - Distribution des causes de mort dues à un vêlage difficile chez les vaches allaitantes (1 832 cas) et chez les vaches laitières (3 920 cas)

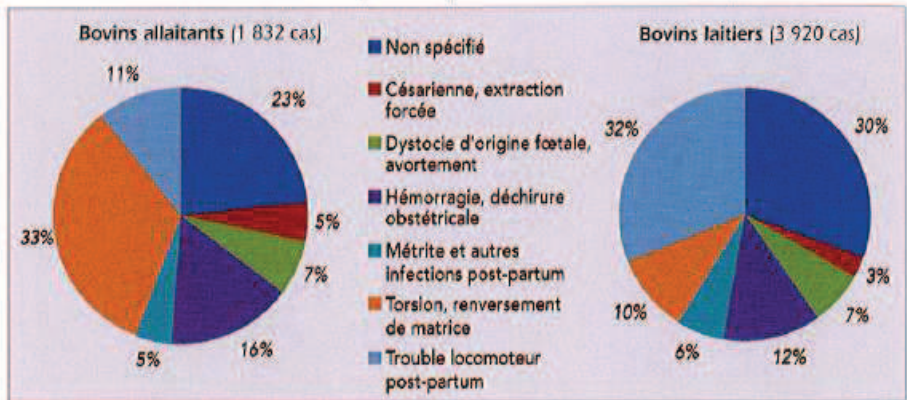
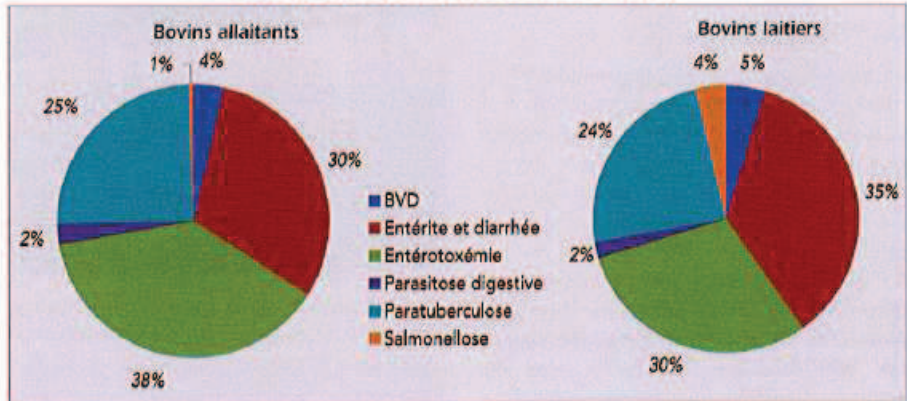


Figure 4 - Distribution des causes de mort par syndrome entérique chez les bovins allaitants et chez les laitiers



subitement, sans autopsie ni examen fondé des circonstances [9, 13].

La part des morts attribuées à la paratuberculose parmi celles associées à un syndrome entérique est importante quel que soit le type de production (environ 25 p. cent), tandis que salmonellose et BVD (diarrhée virale bovine) sont beaucoup plus rarement incriminées. Environ un tiers des diagnostics de ce groupe sont limités à l'observation de symptômes (sous-groupe "entérite et diarrhée").

Les "autres causes"

La catégorie représentant le plus grand nombre de cas enregistrés dans la base de données (8 006 morts de bovins) est celle des "autres causes". Cette catégorie regroupe les causes de mortalité dont le nombre d'occurrences dans la base de données est faible (telles que les maladies infectieuses, les intoxications, etc.), et celles qui sont peu informatives (vache couchée, péritonite, etc.). Le détail de ces autres causes est présenté dans le tableau 2 (le sous-groupe "divers"

rassemble les diagnostics qui n'ont pas pu être regroupés).

Remarque : La base ne recèle que six suspicions d'ESB, ce chiffre peut sembler faible puisque ce programme était mené pour surveiller cette maladie.

Les causes inconnues

La catégorie "cause inconnue" représente respectivement 10 p. cent et 6 p. cent des diagnostics renseignés chez les bovins allaitants et laitiers. Cette différence peut probablement s'expliquer par une surveillance moins attentive des bovins allaitants que des laitiers. Dans les deux populations, les morts subites (animal retrouvé mort sans symptômes préalables) représentent environ la moitié de ces cas [3].

L'importance relative de la catégorie "cause inconnue" est globalement faible (6,8 p. cent des diagnostics renseignés). Celle-ci est toutefois sous-estimée, car les fiches dont le champ diagnostic n'était pas renseigné (23 p. cent du total) ont été exclues, alors qu'un grand nombre d'entre elles apparte-

actualités en perspective - de quoi meurent les bovins adultes ?

Tableau 3 - Évolution mensuelle des taux de mortalité (pour 1 000 bovins-années)
par cause chez les bovins allaitants et laitiers

(le mois de janvier 2001 n'a pas été représenté pour cause d'interruption du programme pendant la plus grande partie de ce mois)

Allaitants							Laitiers					
Août-00	Sept-00	Oct-00	Nov-00	Dec-00	Fev-01		Août-00	Sept-00	Oct-00	Nov-00	Dec-00	Fev-01
1,83	2,05	1,71	1,56	2,07	3,87	● Accidents	2,80	3,32	3,11	3,12	3,27	5,77
2,30	2,78	3,93	4,29	3,72	4,90	● Autres causes	3,34	3,99	5,17	4,94	4,63	5,64
0,54	0,28	0,37	0,58	0,58	0,75	● Boiterie	0,73	0,71	0,87	1,26	1,20	1,80
0,71	0,61	1,19	1,84	1,82	2,68	● Cause inconnue	0,58	0,72	1,01	1,21	1,57	1,96
0,31	0,30	0,32	0,44	0,39	0,48	● Corps étranger	0,53	0,59	0,76	0,67	0,65	0,83
0,04	0,08	0,08	0,09	0,09	0,04	● Fièvre de lait	1,36	1,22	0,96	1,19	0,80	0,79
0,14	0,08	0,09	0,12	0,10	0,19	● Mammites	1,18	1,19	1,24	1,55	1,78	1,79
0,39	0,32	0,34	0,39	0,75	2,10	● Mauvais état général	0,29	0,38	0,52	0,68	0,76	1,66
0,14	0,13	0,22	0,24	0,24	0,39	● Occlusion, torsion digestive	0,72	0,87	1,10	1,20	1,17	1,52
0,17	0,22	0,26	0,23	0,21	0,47	● Problème cardiaque	0,40	0,49	0,62	0,61	0,77	0,70
0,51	0,52	0,50	0,44	0,34	0,67	● Problème respiratoire	0,66	0,51	0,65	0,81	0,77	0,82
1,13	1,09	1,67	1,83	1,64	2,39	● Syndrome entérique	1,11	1,36	1,45	1,84	1,75	2,32
2,48	2,47	2,30	2,59	2,31	4,57	● Vêlage difficile	2,66	2,99	3,40	3,95	3,48	3,08

naient probablement à cette catégorie.

Par ailleurs, de nombreux diagnostics classés dans d'autres catégories ne correspondaient pas à des diagnostics formels, mais à des symptômes ou à des syndromes (vache couchée, diarrhée, péritonite, ...), ou à des hypothèses diagnostiques peu spécifiques (entérototoxicité, foudre, ...) [8] (photo 3). La proportion de diagnostics non atteints semble donc en réalité beaucoup plus élevée.

● Ces résultats reflètent les difficultés que rencontrent les vétérinaires pour établir un diagnostic formel sur les morts de bovins, en raison du manque de moyens mis en œuvre pour des examens complémentaires (analyses de laboratoire coûteuses pour l'éleveur, pratique de l'autopsie peu courante et délicate sur des bovins adultes). Un grand nombre de ces animaux meurent donc sans que l'origine du problème puisse être identifiée. Ceci représente à la fois un problème sanitaire (impossibilité pour l'éleveur d'appliquer des mesures correctives) et épidémiologique (risque de non identification de maladies d'importance sanitaire ou économique).

LES TENDANCES SAISONNIÈRES

● Le taux de mortalité lié à chaque cause de mort n'a pas été constant au cours de la période d'étude, que ce soit chez les bovins laitiers ou chez les allaitants (tableau 3). En effet, si la mortalité est un phénomène

aléatoire à l'échelle individuelle, elle ne l'est pas à l'échelle de l'exploitation agricole, car un grand nombre de facteurs zootechniques (vêlage, alimentation, type de logement, etc.) ou liés à la conduite d'élevage influencent les causes de mort, et la saisonnalité de ces facteurs de risque est forte.

● Les taux de mortalité pour les vêlages suivent logiquement les pics de mise bas (en novembre pour les laitières, en février pour les allaitantes).

● Pour de nombreuses autres causes, les taux sont plus élevés pour la période hivernale (décembre-février). Ceci peut s'expliquer en partie par une augmentation de la pression d'infection dans les locaux. Bien connue pour les affections des jeunes, elle existe aussi pour les adultes. L'inadaptation du logement hivernal aux bovins, notamment au regard des causes accidentelles et des boiteries, est peut-être une raison complémentaire.

DISCUSSION

Détermination des causes de mort

● Les causes de mort décrites dans cette étude sont celles identifiées par les vétérinaires venus constater la mort des animaux dans le cadre d'un programme officiel de surveillance de l'ESB. Souvent, le vétérinaire n'avait pas vu l'animal avant la mort, et émettait une hypothèse sur la cause en se basant



Photo prise dans le cadre d'une expertise de fulguration (photo Anses Lyon).

ACTUALITÉS

Annexe VI : Production scientifique

Revue internationale à comité de lecture

Articles publiés

- **Perrin J-B**, Ducrot C, Vinard JL, Morignat E, Calavas D, Hendriks P: Assessment of the utility of routinely collected cattle census and disposal data for syndromic surveillance. *Prev Vet Med* 2012, 105(3):244-252.
- **Perrin J-B**, Ducrot C, Vinard J-L, Morignat E, Gauffier A, Calavas D, Hendriks P: Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: Application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics* 2010, 2(4):207-214.

Articles en préparation ou soumis

- **Perrin J.-B.**, Durand B., Emilie G., Ducrot C., Hendriks P., Calavas D., 2012. Evaluating the performances of an algorithm for detecting abnormal mortality increases simulated according to an epidemic scenario in cattle population, *en preparation*
- Dupuy C., Bronner A., Calavas D., Hendriks P., Fouillet A., **Perrin J.-B.**, 2012. Inventory of veterinary syndromic surveillance systems in Europe (Triple-S project): current situation and perspectives. *en preparation*

Revue nationale à comité de lecture

- Perrin J-B, Calavas D, Ducrot C, Hendriks P: Surveillance de la mortalité des ruminants en France et en Europe. *Epidemiol et santé anim* 2012, 60.
- Calavas D, Perrin J-B, Dupuy C, Ducrot C, Savey M, Hendriks P: Quelle est la valeur ajoutée de la surveillance syndromique pour la détection de phénomènes pathologiques nouveaux? *Epidemiol et santé anim* 2012, 60.
- Hendriks P, Perrin J-B, Dupuy C, Calavas D, Dufour B: Typologie des dispositifs de surveillance syndromique. *Epidemiol et santé anim* 2012, 60.
- Perrin J-B, Ducrot C, Vinard J-L, Hendriks P, Calavas D: Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009. *INRA Prod Anim* 2011, 24(3):235-244.
- Perrin J-B, Mounaix B, David V, Vinard J-L, Morignat E, Hendriks P, Lucbert J, Calavas D: Impact de la FCO-8 sur la mortalité des bovins en France en 2007. *Bull Epidemiol Afssa* 2010, 35:20-22.
- Perrin J-B, Ducrot C, Vinard J-L, Morignat E, Calavas D, Hendriks P: Modélisation de la mortalité bovine en vue d'estimer l'impact de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine en France (2007-2009). *Epidemiol et santé anim* 2010, 57:69-80.

Participations à des congrès scientifiques

Communications orales (anglais)

- Fouillet A, Sala-Soler M, Conti S, Kanieff M, Rago G, Perrin J-B, Dupuy C, Krafft T, Ziemann A, Viso A-C: Inventory of syndromic surveillance systems in Europe by the Triple-S project. In: ISDS: 6-8 décembre 2011; Atlanta, USA; 2011.
- Perrin J-B, Dupuy C, Hendriks P, Calavas D: The veterinary component of the Triple-S project. In: Triple-S Plenary meeting: 28 novembre 2011; Budapest, Hongrie; 2011.
- Perrin J-B, Dupuy C, Hendriks P, Calavas D: Syndromic surveillance systems in Europe. In: 3rd EU Surveillance network meeting: 20-21 octobre 2011; Bern, Suisse; 2011.
- Perrin J-B: Surveillance of cattle population through real-time mortality monitoring. In: 3rd EU Surveillance Network Meeting: 20-21 octobre 2011; Bern, Suisse; 2011.

- Perrin J-B, Dupuy C, Fouillet A: Synergies between animal and human syndromic surveillance. In: Triple-S France site visit: 13 septembre 2011; Paris, France; 2011.
- Perrin J-B, Hendrikx P, Vinard J-L, Ducrot C, Calavas D: Surveillance of cattle population through real-time mortality monitoring. In: International Conference on Animal Health Surveillance (ICAHS): 17-20 mai 2011; Lyon, France; 2011.
- Perrin J-B, Calavas D, Hendrikx P: Veterinary syndromic surveillance, foreseen link with human health surveillance. In: Triple-S Kick-off meeting: 21-24 novembre 2010; Luxembourg, Luxembourg; 2010.
- Bonjour P, Gauffier A, Perrin J-B: Animal mortality: a multipurpose source of information. The French experience. In: International Scientific Conference on Modern systems of bio-safety and bio-security in the veterinary medicine: 20-24 septembre 2010; Feodosia, Ukraine; 2010: 386.
- Perrin J-B: Space time modeling of cattle mortality and anomaly detection. In: Risk-based surveillance programmes and early warning systems: 10-11 mai 2010; Oslo, Norvège; 2010.

Communications orales (français)

- Perrin J-B, Calavas D, Ducrot C, Hendrikx P: Surveillance de la mortalité des ruminants en France et en Europe. In: Journées de l'AEEMA 2012: 29 mai - 1 juin 2012; Maisons-Alfort, France; 2012.
- Perrin J-B, Calavas D, Vinard J-L, Hendrikx P, Ducrot C: Analyse descriptive de la mortalité bovine - Intérêt pour la surveillance épidémiologique du cheptel français. In: 18ème Rencontres Recherches Ruminants: 7 au 8 décembre 2011; Paris, France; 2011: 263-266, Communication orale.
- Perrin J-B: La mortalité bovine comme indicateur pour la surveillance épidémiologique. In: Rencontres Atemax: 17 novembre 2011; Paris, France; 2011.
- Perrin J-B, Calavas D, Ducrot C, Vinard J-L, Morignat E, Hendrikx P: Mise en évidence d'excès de mortalité dans la population bovine française en 2007-2008. In: Journées de l'AEEMA 2010: 20-21 mai 2010; Maisons-Alfort, France; 2010.
- Perrin J-B: Impact de la FCO sur la mortalité des bovins. In: Réunion d'information et d'échanges sur la restitution des résultats de la recherche opérationnelle FCO en France - Réseau Français pour la Santé Animale: 18 mars 2010; Maisons-Alfort, France; 2010.

Posters

- Boissard V, Perrin J-B, Vinard J-L, Calavas D: Description of causes of mortality in cattle over 2 years, foreseen interest for epidemiological surveillance. In: International Conference on Animal Health Surveillance (ICAHS): 17-20 mai 2011; Lyon, France; 2011: 219-221.
- Perrin J-B, Vinard J-L, Hendrikx P, Ducrot C, Calavas D: Design of an automated cattle mortality surveillance system based on disposal requests. In: SVPM Annual Conference: 28-30 mars 2012; Glasgow, United Kingdom; 2012.

RESUME

La surveillance syndromique est un concept récent en épidémiologie. Fondée sur le suivi automatisé d'indicateurs de santé non spécifiques, cette nouvelle approche offre des perspectives intéressantes pour la détection de phénomènes pathologiques émergents. Nous nous sommes basés sur les données actuellement collectées en France sur la mortalité bovine pour évaluer la faisabilité et la pertinence d'un système de surveillance syndromique basé sur cet indicateur.

Nous avons d'abord modélisé le niveau de référence de la mortalité bovine en France puis proposé des méthodes pour identifier et quantifier d'éventuels excès de mortalité. Nous avons d'abord analysé des données réelles pour estimer rétrospectivement les conséquences sur la mortalité de l'épizootie de fièvre catarrhale ovine qui a touché le cheptel bovin français en 2007 et 2008. Nous avons ensuite proposé une méthode visant à identifier des regroupements d'unités spatiales présentant des augmentations inhabituelles de mortalité, et évalué ses performances pour détecter des foyers d'une maladie infectieuse dont nous avons simulé la propagation dans le cheptel bovin.

Sur la base de ces travaux, nous discutons finalement de l'intérêt pour la protection de la santé animale d'un système de surveillance non spécifique basé sur la mortalité, et émettons des propositions pour la mise en place opérationnelle d'un tel système.

TITLE

Modeling cattle mortality. Use for syndromic surveillance

ABSTRACT

Syndromic surveillance is a recent concept in epidemiology. Based on automated monitoring of non-specific health indicators, this new approach offers interesting prospects for the detection of various health events. We analyzed data on cattle mortality routinely collected in France to assess the feasibility and relevance of a syndromic surveillance system based on this indicator.

We modeled the baseline of cattle mortality in France and proposed methods to identify and quantify excess mortality. First we analyzed real data to retrospectively estimate the effects on mortality of the bluetongue outbreak which affected the French cattle in 2007 and 2008. We then proposed a method to detect unusual increases mortality, and evaluated its performance for the detection of outbreaks of an infectious disease of which we simulated the spread in the cattle population.

We finally discuss the interest of a surveillance system based on non-specific mortality for the protection of animal health, and make proposals for the operational implementation of such a system.

DISCIPLINE

Epidémiologie

MOTS-CLES

Epidémiosurveillance, surveillance syndromique, mortalité, bovins, modélisation

INTITULE ET ADRESSE DES LABORATOIRES :

Unité Epidémiologie Anses-Lyon
31 avenue Tony Garnier
69394 LYON Cedex 07

Unité d'Epidémiologie Animale, INRA
Site de Theix
63122 Saint Genès-Champanelle