



Ecole Supérieure d'Agricultures
55 rue Rabelais
B.P. 30748
49007 Angers Cedex 01
Tél : 02.41.23.55.55



INRA Auvergne Rhône-Alpes
Unité d'Epidémiologie Animale
UR 0346 EpiA
Route de Theix
63122 Saint-Genès-Champanelle
Tél : 04.73.62.41.48

CARACTERISATION DES TROUPEAUX BIOLOGIQUES DE RUMINANTS EN « EQUILIBRE SANITAIRE »

Le cas du système herbager bovin laitier de l'unité INRA ASTER à Mirecourt



Etudiante : **Tiphaine LE BRIS**

Promotion 2011 - 114 - IM2

Maître de stage INRA : **Gwenaël VOURC'H**, Directrice de l'unité d'Epidémiologie Animale (EpiA)

Co-encadrant INRA : **Patrick GASQUI**, Ingénieur d'Etude, Statistiques et modélisation (EpiA)

Enseignant conseil ESA : **Claire MANOLI**, Enseignant-Chercheur en Productions Animales

STAGE RECHERCHE et INNOVATION - 2016

Mots Clés : Santé des troupeaux, équilibre sanitaire, approche globale, bovins laitiers, Agriculture Biologique, modélisation.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur : Tiphaine LE BRIS

Promotion : 2011 (114) – IM2

Signalement du rapport : Le Bris, T (2016). Caractérisation des troupeaux biologiques de ruminants en « équilibre sanitaire ». Le cas du système herbager bovin laitier de l'unité INRA ASTER à Mirecourt. Rapport de stage Recherche et Innovation, Formation ingénieur, Angers, ESA d'Angers, 39 p. + annexes. 39 pages, 7 tableaux, 15 figures, 18 encadrés, 79 références bibliographiques, 24 annexes.

Mots-clé : Santé des troupeaux, équilibre sanitaire, approche globale, bovins laitiers, Agriculture Biologique, modélisation.

RÉSUMÉ D'AUTEUR

Le plan EcoAntibio 2012-2017 prévoit une diminution drastique de l'utilisation des antibiotiques d'ici 2017. En parallèle, les conditions d'élevage, notamment le bien-être et la santé des animaux, sont tombées dans le débat public et sont le sujet d'une forte controverse. Cependant, si la législation et les consommateurs s'emparent de ces questions, ils peinent à proposer des solutions satisfaisantes. Or, le mode de production biologique s'inscrit dans cette dynamique et a déjà recours à des alternatives encourageantes. Ce sont alors les acteurs des filières biologiques de ruminants : éleveurs, associations, organismes de développement et d'appui technique, vétérinaires et chercheurs, qui se mobilisent ici dans le projet CASDAR OTOVEIL pour trouver les moyens de répondre à ces enjeux et d'accompagner les éleveurs vers les changements de pratiques sanitaires qui leur sont imposés, notamment le renforcement de la prévention des pathologies. Le projet CASDAR OTOVEIL vise ainsi à objectiver et formaliser une approche globale et préventive de la santé des troupeaux de ruminants, basée sur la notion d'équilibre sanitaire, chère aux conceptions de la santé des éleveurs biologiques. Cet effort d'objectivation participera à une meilleure compréhension des pratiques et des attentes des éleveurs et permettra ainsi de proposer des pistes d'amélioration des outils et des dispositifs de conseil et d'accompagnement des éleveurs en matière de santé animale. On me demande alors de prendre part au travail d'objectivation de la notion d'équilibre sanitaire, notion encore floue mais qui présente le potentiel d'un critère holistique de la santé des troupeaux en Bio, par des outils et développements statistiques, afin d'améliorer la prévention et la gestion sanitaire dans les élevages biologiques.

Mon stage a consisté en un important travail bibliographique sur la notion d'équilibre sanitaire. Puis j'ai travaillé avec mes encadrants à l'élaboration d'une méthodologie qui permette d'étudier cet équilibre au sein d'un troupeau donné au cours du temps. J'ai ensuite mis cette méthode en application sur un jeu de données afin de mettre en évidence les périodes d'équilibre et de déséquilibre sanitaire d'un troupeau sur une période d'étude. Il s'agissait d'une base de données, fournie par l'unité INRA ASTER de Mirecourt, sur son troupeau bovin lait, biologique et tout herbe, et représentant 11 ans d'expérimentation système.

Les premiers résultats obtenus permettent de valider notre approche méthodologique et notre définition de l'équilibre sanitaire. L'équilibre sanitaire est un concept dynamique de santé des troupeaux qui peut être défini comme un état de santé stable, résultant des interactions entre plusieurs facteurs (alimentation, génétique, pratiques d'élevage, climat, etc.). Il peut être étudié rétrospectivement par le traitement statistique de données sanitaires, zootechniques et démographiques du troupeau étudié. En effet, l'utilisation de modèles GLM et des lois statistiques usuelles (binomiale, Poisson et binomiale négative) permet de modéliser individuellement plusieurs indicateurs (comme la prévalence de troubles locomoteurs), chacun porteur d'une part d'information sur l'état sanitaire du troupeau, et de visualiser leurs variations simultanées dans le temps, comme un tableau de bord. J'ai ainsi pu décrire les périodes où la santé du troupeau de Mirecourt était plus ou moins en équilibre ou en déséquilibre.

Cependant, nous avons identifié un certain nombre de biais et de limites qu'il faudra lever ou contourner pour pouvoir proposer un outil de détection précoce des déséquilibres sanitaires. En particulier, il faudra étudier les interactions entre les différents indicateurs retenus et tâcher de trouver une combinaison de ces indicateurs satisfaisante pour étudier et représenter l'équilibre d'un troupeau de manière plus directe. Il faudra aussi affiner la manière de détecter des déséquilibres. Ces perspectives seront investiguées et approfondies dans le cadre d'un stage de master 2 en statistiques ou biostatistiques encadré par l'unité EpiA à l'INRA, et dans la suite du projet OTOVEIL, notamment lors d'une enquête auprès d'une centaine d'élevages de ruminants en France qui se déroulera l'an prochain.

BIBLIOGRAPHIC RECORD

Author : Tiphaine LE BRIS

Promotion : 2011 (114) – IM2

Report description : Le Bris, T. (2016). Characterisation of « health balance » in organic ruminant herds. The case study of the organic grass-based dairy cattle directed by the research unit ASTER (INRA) in Mirecourt. Internship « Research and Innovation » report, Engineering curriculum, Angers FRA, ESA of Angers, 39 p. + appendixes.

39 pages, 7 tables, 15 pictures, 18 boxed text, 79 references, 24 appendixes.

Key words : herd health, health balance, global approach, milk cattle, Organic Agriculture, modelling.

ABSTRACT

The French plan EcoAntibio 2012-2017 forecasts a drastic drop of antibiotic use from here to 2017. Meanwhile, husbandry conditions – animal health and well-being in particular – has entered into the public debate and end up at the core of controversial issues. However, if legislation and consumers took hold of these questions, they fail to offer satisfactory solutions. Yet, organic production especially fits into this movement and already uses encouraging alternatives. Therefore, the actors of the organic ruminant supply chains : farmers, associations, development and technical support organisations, vets and researchers, got together in the CASDAR project « OTOVEIL » to find out ways to address these issues and to help farmers go through the changes they have been demanded, like the reinforcement of disease prevention. The OTOVEIL project aims to objectify and formalise a holistic and preventive approach of herd health, based on the concept of « health balance » or « health equilibrium », closer to organic farmers' conceptions. This will take part in a better understanding of farmers' practices and demands, thus enabling stakeholders to offer better ways of advising and help farmers, as far as animal health is concerned. Hence, I have been asked to take part in the reflection around the concept of health balance, which is a vague notion but has the potential to be a holistic criterion of herd health, to improve prevention and herd health management on organic farms.

Therefore, I did a significant bibliographical work on the concept of health equilibrium. I also built up a methodology, with the help of my supervisors, to analyse herd health balance within a given herd along time. Then, I put it into practice on a data base that the research unit ASTER Mirecourt had given us. This data base gathered 11 years of experiments on their organic grass-based dairy cattle. The aim was then to highlight time periods of equilibrium and disequilibrium of the herd health during the time of the study.

The first results allow us to confirm our methodological approach and our definition of health balance. As a matter of fact, health equilibrium is a dynamic concept of herd health which can be defined as a stable state of health resulting from multiple factors in interaction (such as feed, genetics, husbandry practices, climate, etc.). Thus, health balance can be studied retrospectively by a statistical analysis of sanitary, animal production and demographical data on a given herd. Indeed, as we use GLM models and common

statistical laws (binomial, Poisson and negative binomial), we can model several indicators individually (like the prevalence of locomotive disorders), each of them carrying a piece of information of the global health status of the herd, and visualise their variations simultaneously in time, like a dashboard. Thus, I was able to describe some period rather stable and some other rather unstable to characterise the health status of the herd on Mirecourt.

Nevertheless, we underlined some bias and limits that will have to be dispelled in order to turn this method into a health disequilibrium early detection tool. Especially, interactions between the different indicators will have to be analysed in order to find a suitable combination of these indicators and to study and represent the health balance of a herd more directly. In addition, the detection method of disequilibrium will have to be refined. These perspectives will be investigated in an internship addressed to a master 2 student in statistics or biostatistics under the supervision of the unite EpiA (INRA), and the future developments of the OTOVEIL project, especially during a survey that will take place next year and will include around a hundred of ruminant farms in France.

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont rendu cette expérience possible et plaisante, et qui m'ont accompagnée tout au long de mon stage.

Je remercie Gwenaël Vourc'h, Directrice de l'unité d'Epidémiologie Animale (EpiA) et Patrick Gasqui, Ingénieur d'Etude dans cette même unité, pour m'avoir fait confiance et m'avoir recrutée pour ce stage. Je les remercie aussi pour nos échanges et leur encadrement pendant toute la durée de cette expérience. Je remercie particulièrement Patrick pour sa patience, son aide et son soutien dans les développements méthodologiques que l'on a faits ensemble.

Je remercie mon enseignante conseil, Madame Claire Manoli, pour ses conseils avisés et son suivi dans la préparation du stage et dans l'élaboration de ma problématique.

Je remercie Catherine Experton, coordinatrice du projet OTOVEIL, ainsi que les animateurs, pour leur investissement et leur disponibilité. Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude envers Catherine qui a toujours prêté une oreille attentive, que ce soit pour répondre à mes questions ou à celles des autres stagiaires du projet, et qui a veillé, tout au long de nos stages, à ce que l'on ne s'égare pas, notamment par la relecture de nos rapports. Ses qualités d'animatrice et d'organisatrice ont véritablement participé à la réussite de nos missions.

Merci également aux personnes qui se sont impliquées dans le comité de pilotage de mon stage et qui se sont joints à Gwenaël Vourc'h et Patrick Gasqui pour m'encadrer et suivre les avancées de mon travail. Je remercie ainsi Aurélien Madouasse de l'UMR (Unité Mixte de Recherche) BIOEPAR (Biologie, Epidémiologie, Analyse de Risque en Santé Animale) à l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de Nantes, Philippe Roussel de l'Institut de l'Elevage à Paris, et de nouveau Catherine Experton de l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique) à Paris.

Je me dois également de remercier Jean-Louis Peyraud, en sa qualité de président du GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) Elevage Demain, qui a accordé à l'UR EpiA le financement nécessaire pour payer mes indemnités de stage. Le GIS Elevage Demain a ainsi participé à la hauteur de 3325€ au financement de mon stage.

Je tiens aussi à dire un grand merci à l'équipe d'ASTER Mirecourt, et en particulier à Laurent Brunet et Jean-Marie Trommenschlager, ainsi qu'à toute l'équipe technique, pour le super travail qu'ils ont réalisé sur la base de données. Merci aussi de m'avoir aidée dans mon travail d'analyse, d'avoir répondu à mes nombreuses questions et d'avoir pris le temps de m'accueillir sur votre domaine et d'assister à ma restitution. Ces échanges m'ont été très utiles et j'ai pris beaucoup de plaisir à collaborer avec vous.

Je voudrais aussi remercier mes collègues stagiaires de l'action 2 du projet OTOVEIL, Anne-Laure Demarthe, Amandine Kempeneers, Nina Leuci et Amélie Battut, avec qui j'ai beaucoup échangé et partagé des moments de doutes et d'autres plus joyeux.

Merci aussi à mes proches, famille et amis, et en particulier Christine Percher Le Bris et Nathan Deconinck, pour leur écoute et leur soutien. Merci beaucoup pour le temps que vous avez consacré à la relecture de mon rapport.

Enfin, un grand merci à l'équipe d'EpiA qui m'a accueillie chaleureusement parmi les siens. Je voudrais personnellement remercier mes collègues de bureau, Sylvain Coly et Arnaud Cougoul, doctorants, Clément Claustre, stagiaire, et Christian Ducrot, chercheur, pour leur soutien moral, et parfois poétique et artistique, et pour leurs coups de pouce (qui m'ont bien aidée !) dans des domaines multiples : statistiques, biologique, social..., et surtout, pour leur bonne humeur. Nous avons partagé de très bons moments et leur présence a beaucoup compté pour moi.

A vous tous, et du fond du cœur, MERCI !

TABLE DES MATIERES

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
RÉSUMÉ D'AUTEUR.....	4
BIBLIOGRAPHIC RECORD.....	6
ABSTRACT.....	6
TABLE DES MATIERES.....	10
Table des figures.....	11
Table des tableaux.....	12
Table des encadrés.....	12
LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES.....	15
INTRODUCTION.....	1
II. CONTEXTE.....	2
1. Le projet CASDAR OTOVEIL.....	2
2. Présentation de l'action 2 du projet OTOVEIL.....	5
3. Présentation de l'unité d'épidémiologie animale.....	6
III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	19
1. Sur la caractérisation des notions d'équilibre et de déséquilibre de la santé des troupeaux.....	19
2. Sur la caractérisation de l'équilibre d'un troupeau : les apports méthodologiques en statistiques et probabilités.....	14
3. Sur la sélection d'indicateurs pertinents pour étudier la santé des troupeaux bovins laitiers biologiques.....	16
4. Synthèse générale et formulation de la problématique.....	19
IV. METHODOLOGIE.....	41
1. Matériel.....	41
2. Méthode.....	22
V. RESULTATS.....	28

1.	L'équilibre sanitaire des vaches	28
2.	La synthèse de l'équilibre sanitaire du troupeau	33
VI.	DISCUSSION	34
1.	Rappel des principaux résultats	34
2.	La valeur de nos résultats	35
3.	Limites de l'étude	35
4.	Perspectives	36
5.	Confrontation des résultats à la bibliographie	38
	CONCLUSION	39
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40
	Table des annexes.....	II

Table des figures

Figure 1: Schématisation de mon contexte de stage: mon stage à EpiA et sa place dans l'action 2 du projet OTOVEIL	5
Figure 2: Frise chronologique de l'historique d'EpiA, de sa naissance à aujourd'hui	7
Figure 3 : Word cloud d'EpiA	7
Figure 4: Schéma de l'objectif général du projet de recherche d'EpiA: L'épidémiologie des maladies infectieuses en relation avec les processus écologique et le changement global.....	8
Figure 5: Les piliers de l'équilibre sanitaire - Olivier Patout, 2014	13
Figure 6: Le continuum entre équilibre et maladie - Denis Fric, 2016	13
Figure 7: Schéma de synthèse sur la représentation du déséquilibre sanitaire, Demarthe, 2016	19
Figure 8: Représentation conceptuelle de l'équilibre sanitaire d'un troupeau sur laquelle est basée notre méthodologie – ne pouvant aller plus loin dans le développement, la fonction d'équilibre n'a pas encore été déterminée. Pour le moment l'équilibre sanitaire est considéré comme la résultante d'une somme d'équilibres partiels sur les indicateurs qui le déterminent.	23
Figure 9: Exemple de représentation sous forme de tableau de bord que l'on peut obtenir à l'issue de notre méthode – représentation simultanée dans le temps d'une sélection	

d'indicateurs de l'équilibre sanitaire des vaches laitières du SH de Mirecourt – extrait d'une de mes présentations faites dans le cadre d'OTOVEIL	23
Figure 10: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les vaches du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	28
Figure 11: Répartition globale des causes de réforme (sens de lecture de la légende: de gauche à droite)	28
Figure 12: Evolution de quelques causes de réforme entre 2005 et 2015	29
Figure 13: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Vaches	32
Figure 14: Synthèse générale sur l'équilibre sanitaire du troupeau - vue globale par sous-population.....	32
Figure 15: Graphique de synthèse générale sur l'équilibre sanitaire du troupeau	33

Table des tableaux

Tableau 1: Grille d'observation des vaches laitières proposée par le projet Welfare Quality - Veissier et al., 2007	17
Tableau 2: Représentation des vecteurs N et Y.....	24
Tableau 3: Processus de construction des vecteurs N et Y par incrémentation et décrémentation	24
Tableau 4: Processus d'incrémentement du vecteur N	24
Tableau 5: Evolution du taux de réforme entre 2005 et 2015 pour une référence de 40 vaches laitières	29
Tableau 6: Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des vaches	30
Tableau 7: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des vaches	31

Table des encadrés

Encadré 1: L'origine du projet.....	2
Encadré 2: Qu'est-ce qu'un projet CASDAR?.....	2
Encadré 3: La pensée de Jean-Pierre Darré sur la construction des conceptions et des pratiques des agriculteurs.....	3
Encadré 4: Organisation de l'action 2, détail des deux tâches de l'action	6

Encadré 5: Mes missions de stage.....	9
Encadré 6: Qu'est-ce que l'agriculture biologique?	10
Encadré 7: La conversion à l'AB, une période de déséquilibre.....	11
Encadré 8: La réglementation en AB - R(CE) 889/2008	11
Encadré 9: Conceptions de la santé en Bio	22
Encadré 10: Approches comparées du Bio et du conventionnel	22
Encadré 11: Les ressources et les contraintes des pratiques sanitaires des éleveurs Bio.....	14
Encadré 12: Qu'est-ce que la résilience?	14
Encadré 13: La méthode Obsalim et l'observation des animaux.....	18
Encadré 14: Les hypothèses	20
Encadré 15: Historique du domaine de Mirecourt	21
Encadré 16: Description du système herbager de Mirecourt	42
Encadré 17: Précisions sur la signification des hypothèses initiales.....	26
Encadré 18: Programmation sur R des modèles.....	27

LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES

AB : Agriculture Biologique

ACP : Analyse en Composantes Principales

AIC : Critère d'Information d'Akaike

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ARA : Auvergne – Rhône – Alpes

ASTER : AgroSystèmes TErritoires Ressources

AVEM : Association Vétérinaire des Eleveurs du Millavois

AVER : Association Vétérinaire des Eleveurs de la Raye

B : loi binomiale

BDD : Base De Données

BIOEPAR : Biologie, Epidémiologie, Analyse de Risque en Santé Animale

BN : loi binomiale négative

CASDAR : Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural

CCS : Comptage en Cellules Somatiques

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives

CFPPA : Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole

CIVAM : Centre d'Initiatives pour la Valorisation de l'Agriculture et du Milieu Rural

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

COPPECS: **CO**-regulation of **P**ublic and **P**rivate **E**xtension Servi**C**es and **S**tandards for Animal Health Management

DGER: Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche

ddl : degré de liberté

dR : déviance résiduelle

EpiA : unité d'Epidémiologie Animale

EquiBio: Maintaining **Equilibrium**: a concept and approach for health and welfare management in ruminant organic farms/ maintenir l'**Equilibre** : concept et approche pour la santé et le bien-être animal en élevage **Biologique** de ruminants

ESB : Encéphalopathie Spongiforme Bovine

GAB44 : Groupement d'Agriculture Biologique de Loire Atlantique (44)

GEE : Generalized Estimated Equation

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

GISA : Gestion Intégrée de la Santé Animale

GLM : Generalized Linear Models ou Modèles Linéaires Généralisés

ha : hectares

IA : Insémination Artificielle

IC : Intervalle de Confiance

IDELE : Institut de l'Élevage

IFOAM : International Federation of Organic Agriculture Movements

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INRIA : Institut National de Recherche en Informatique et Automatique

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

L : litre

MANOVA : Multivariate ANalysis Of VAriance, analyse multivariée de la variance

MS : Matière Sèche

NEC : Note d'Etat Corporel

OTOVEIL : Développer des **O**utils **T**echniques et **O**rganisationnels de conseil pour la
sur**VEIL**lance et la prévention sanitaires des élevages biologiques

P : loi de Poisson

SA : Santé Animale

SAD : Sciences pour l'Action et le Développement

SAEB : Santé Animale en Elevage Biologique

SH : Système Herbager

SPCE : Système Polyculture Elevage

t : tonne

UE : Union Européenne

UMR : Unité Mixte de Recherche

UMT : Unité Mixte Technique

UR : Unité de Recherche

VL : Vache Laitière

INTRODUCTION

« Mieux vaut prévenir que guérir »¹

D'ici 2017, le plan écoAntibio 2012 prévoit une réduction de 25% de l'usage des antibiotiques vétérinaires. En parallèle, le programme Ambition Bio 2017 a pour objectif un doublement des surfaces en bio d'ici fin 2017 et prévoit de développer des programmes de recherche et développement « pour et par l'agriculture biologique », notamment sur la santé et le bien-être animal (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013). Le 13 octobre 2014, alors que la loi d'avenir pour l'agriculture propose un découplage prescription/délivrance, et anime le débat dans les professions de la santé animale, le médicament vétérinaire est montré du doigt (Loi n° 2014-1170, Issautier et al., 2016). Le 20 avril dernier, la nouvelle loi sur la santé animale (« Animal Health Law », règlement UE 2016/429) est entrée en vigueur, marquant le lancement d'une politique de renforcement des moyens de lutte, de prévention et de détection des pathogènes, notamment dans le cas des zoonoses. La santé et le bien-être animal sont bien dans la ligne de mire des faiseurs de loi en France et en Europe. D'autant plus que les citoyens et les consommateurs y prêtent de plus en plus d'intérêt, en témoignent les récentes manifestations très médiatisées de l'association L214 sur l'abattage et les conditions d'élevage des animaux (L214, 2016). C'est dans cette dynamique de réduction des intrants et d'approche globale préventive que s'inscrit le projet CASDAR (Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural) OTOVEIL « Développer des Outils Techniques et Organisationnels de conseil pour la surVEILLance et la prévention sanitaires des élevages biologiques » piloté par l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB). Ce projet entend accompagner les éleveurs et les professionnels du monde agricole dans les changements de pratiques sanitaires en cours et à venir. En effet, il ne suffit pas de légiférer sur la santé animale, mais bien de traduire ces objectifs en actions et en moyens. Au centre du projet OTOVEIL se débat le concept d'équilibre sanitaire des troupeaux. Cette notion, qui est apparue ces dernières années dans certains élevages biologiques et certaines communications sur la santé (Nicourt et al., 2009 ; Patout, 2014 ; Grosmond, 2016), pourrait être le socle d'une nouvelle approche de la santé animale, plus globale, et davantage portée sur la prévention des pathologies et des troubles psychiques, physiques et physiologiques. La construction d'un nouveau paradigme fondé sur l'équilibre sanitaire serait donc susceptible de répondre aux enjeux que connaît le secteur de

¹ Stratégie de santé animale 2007-2013 (Commission au Parlement européen, 2007).

Encadré 1: L'origine du projet

Les temps forts qui ont marqués la réflexion autour du projet

OTOVEIL

On peut retenir trois temps forts qui ont marqué cette réflexion. Tout d'abord la réunion plénière de la commission Elevage de l'ITAB d'avril 2013 qui a identifié un thème prioritaire de recherche pour favoriser la prévention dans les élevages biologiques : « l'approche globale dans la gestion de la santé ». Ce thème a ensuite été repris pour faire l'objet d'un séminaire, co-organisé par l'ITAB et l'INRA et qui s'est tenu à Paris le 8 juillet 2013, afin d'identifier plus précisément les questions de recherche prioritaires se rapportant à ce thème. Enfin, ces questions ont été approfondies et investiguées au sein du réseau SAEB (Santé Animale en Elevage Biologique) auquel participent notamment l'ITAB et certaines unités INRA des départements SA (Santé Animale) et SAD (Sciences pour l'Action et le Développement).

Encadré 2: Qu'est-ce qu'un projet CASDAR?

Qu'est-ce qu'un projet CASDAR ?

Les projets CASDAR (Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural), sont des projets de « Recherche - Action » pour le développement agricole et rural. Il s'agit de projets nationaux financés à 60% (80% à partir de 2016 pour les projets déposés cette année) par le ministère en charge de l'agriculture (aujourd'hui Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt) au moyen du Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural ». Ce compte est approvisionné par les taxes sur les exploitations agricoles, d'où la focale sur le développement de l'agriculture et du monde rural. La DGER (Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche) a elle en charge l'orientation et l'organisation des appels à projets. Créé par la loi de finances pour 2006 (Loi n° 2005-1719 du 30 décembre 2005 de finances pour 2006 - Article 52), le CASDAR représente un levier important pour faire évoluer les pratiques des agriculteurs, notamment en vue de répondre aux enjeux liés à l'innovation et aux transitions agricoles, comme la transition agro-écologique promue actuellement par le gouvernement (Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt).

la santé animale. C'est donc dans ce contexte que je commence mon stage « recherche et innovation ». Je vais ainsi travailler sur l'objectivation par les statistiques de la notion d'équilibre sanitaire au sein de l'unité de recherche (UR) en Epidémiologie Animale (EpiA) du centre INRA d'Auvergne Rhône-Alpes (ARA), organisme qui coordonne et participe à l'action 2 du projet OTOVEIL.

II. CONTEXTE

1. Le projet CASDAR OTOVEIL

a. L'origine du projet OTOVEIL

Mon stage s'inscrit dans le cadre du projet CASDAR OTOVEIL (2015 - 2019) « développer des **O**utils **T**echniques et **O**rganisationnels de conseil pour la sur**VEIL**lance et la prévention sanitaire dans les élevages biologiques ». Ce projet est porté par l'ITAB et coordonné par Catherine Experton de la commission Elevage de l'ITAB. Ce projet est également soutenu par deux UMT (Unités Mixtes Techniques) : l'UMT Maitrise de la santé des troupeaux bovins et l'UMT Maitrise de la santé des troupeaux de petits ruminants, toutes deux pilotées par l'IDELE (l'Institut de l'Elevage). OTOVEIL est né d'une longue réflexion menée depuis plusieurs années sur la santé animale (cf. premier encadré ci-contre). Fort de ces discussions, l'ITAB a répondu à un appel d'offre CASDAR (voir encadré 2 ci-contre) pour la période 2015 - 2019 et a été retenu (ainsi que 18 autres projets sur une centaine ayant répondu par une manifestation d'intérêt) (arrêté du 09.07.2015). OTOVEIL a ainsi débuté officiellement au 1^{er} novembre 2015, date à laquelle commence le financement CASDAR, et se poursuivra jusque fin avril 2019. Ce projet s'inscrit dans la continuité de plusieurs travaux, notamment ceux des projets CASDAR « Synergies pour la santé des élevages biologiques (2013-2015) » et « Agneauxbio, développement concerté et durable de la production d'agneaux biologiques » (2013-2015). Il vient également en compléter d'autres, comme les projets EquiBio « Maintenir l'Equilibre : concept et approche pour la santé et le bien-être animal en élevage Biologique de ruminants » et COPPECS « CO-regulation of Public and Private Extension ServiCes and Standards for Animal Health Management » du métaprogramme GISA (Gestion Intégrée de la Santé Animale) du département SA (Santé Animale) de l'INRA. Enfin, le projet OTOVEIL concourt à renforcer les connaissances dans l'axe 2 du plan EcoAntibio 2012-2017 « développer les alternatives permettant d'éviter les recours aux antibiotiques ».

Ce que nous apprend Jean-Pierre Darré sur la construction des conceptions et des pratiques des agriculteurs

« *Les hommes construisent, reconstruisent, transforment leur réalité dans le flux incessant des dialogues quotidiens* » (Darré, 1999). Jean-Pierre Darré et le GERDAL (Groupe d'Expérimentation et de Recherche : Développement et Actions Localisées)¹ ont ainsi particulièrement étudié le rôle du conseil individuel et du conseil de groupe dans la définition des pratiques des agriculteurs. D'après Jean-Pierre Darré, les pratiques des éleveurs se définissent par et évoluent à partir de leurs connaissances et de leurs conceptions. Ces connaissances pouvant être définies comme un ensemble de moyens d'interpréter des situations, elles se construisent, se discutent et se confrontent à travers les échanges que l'éleveur entretient avec ses pairs et avec les « experts » qu'il côtoie (Darré, 2006). Ainsi, « la maîtrise de la santé animale peut être définie comme la capacité de l'éleveur à interpréter des situations pour savoir quoi faire et comment faire, anticiper ou répondre à des problèmes pour garder un troupeau en bonne santé » (Ruault et al., 2016). Et cette maîtrise de la santé animale se construit et évolue dans le temps à travers l'expérience de l'éleveur, ses conceptions de la santé animale et ses échanges avec ses pairs et les « experts » qui sont intervenus, et interviennent encore, sur son exploitation (Darré, 2006).

b. Les constats du projet OTOVEIL

Ce projet s'intéresse à la santé animale et au conseil agricole. Dans les paragraphes suivants je vous présente les constats et les problèmes exposés par le projet OTOVEIL.

L'Agriculture Biologique (AB) a été particulièrement moteur pour le développement de formes originales de conseil, notamment par la création de réseaux et de groupes de travail (Ruault, 2000), pour mettre au point de nouveaux modes de production, conformes au cahier des charges (voire plus, innovants), plus autonomes et utilisant moins d'intrants chimiques de synthèse. De plus, une grande diversité d'intervenants apportent du conseil en élevage et ont un rôle sur les conduites sanitaires des troupeaux, comme les conseillers techniques troupeau ou bâtiment, les contrôleurs laitiers, les inséminateurs, etc. (Cerf et al., 2013 ; Faure, Compagnone, 2011 ; Ruault et al., 2016 ; Hellec & Blouet, 2010). Mais parallèlement, on observe un manque d'appui technique auprès des éleveurs biologiques dans le domaine sanitaire (Nicourt et al., 2009) ainsi que des contradictions sur le plan sanitaire entre les différentes sources de conseil que consultent les éleveurs (Bouy et Ruault, 2015). Or, alors même que le plan EcoAntibio 2012-2017, qui appelle à une réduction de l'utilisation des antibiotiques de 25%, impacte directement l'activité des professionnels concernés, le secteur du conseil en santé animale n'a pas fait l'objet d'investigations spécifiques. En effet, les études sur la profession vétérinaire se sont concentrées essentiellement sur les missions qui leur sont confiées par l'Etat (comme le contrôle de la qualité sanitaire des produits issus de l'élevage (Bonnaud et Copalle, 2013) et ont totalement délaissé leur activité de conseil auprès des éleveurs. C'est également le cas d'autres professions de l'élevage (Hellec & Blouet, 2010).

Or les travaux de Jean-Pierre Darré nous ont appris que les pratiques des agriculteurs se construisent dans les échanges qu'ils entretiennent dans leurs relations de travail, avec leurs pairs et avec des experts, notamment les conseillers et techniciens (voir encadré ci-contre). Aussi, dans une problématique de changement de pratiques agricoles, il semble impératif d'analyser de près les situations de conseil afin de comprendre ce qui s'y joue. Cette analyse est nécessaire et pré-requis pour pouvoir accompagner le changement (Darré, 2006).

Le projet a ainsi identifié un manque d'accompagnement adapté aux éleveurs Bio en matière de santé animale, face aux enjeux que posent l'AB, le plan EcoAntibio et la transition agro-écologique (ex : diminution de l'usage des antibiotiques et approche préventive et intégrée de la santé des troupeaux). Ce constat donne lieu au premier axe d'investigation du projet.

On constate en effet une forte demande des éleveurs et des agents de terrain pour des références sur la prévention, la réduction des intrants, et sur des formes originales de conseil qui leur permettent de s'approprier progressivement les techniques alternatives à l'usage des antibiotiques (Experton, 2014). De plus, le projet a identifié un besoin d'investigation des relations de conseil qui ont un impact sur la définition des pratiques sanitaires des éleveurs.

Parallèlement à ce constat, la notion d'équilibre, et plus précisément celle d'équilibre sanitaire, est ressortie d'échanges avec certains éleveurs Bio et professionnels de la santé animale. Les éleveurs familiers avec cette notion s'en servent parfois de base pour piloter la santé de leur troupeau (Nicourt et al., 2009). De plus, cette notion serait spécifique de l'agriculture biologique et ne serait jamais évoquée en élevages conventionnels (Bareille, 2014). Cependant, ce concept reste assez flou et la littérature peu abondante sur le sujet. Un deuxième axe de travail vise donc à objectiver la notion d'équilibre sanitaire, à la caractériser et à en identifier les déterminants.

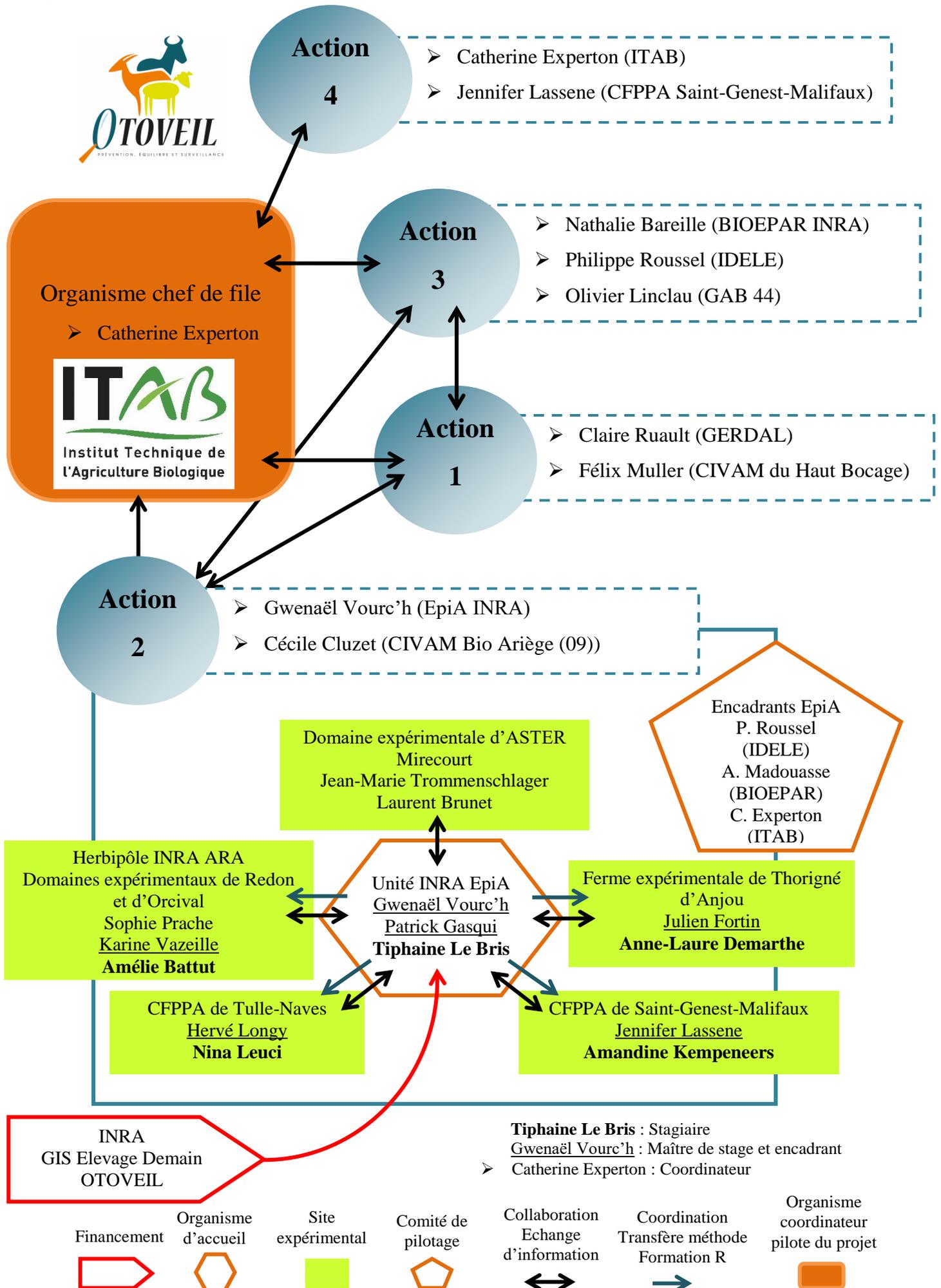
c. Les objectifs du projet

Ces deux axes de travail participent à l'objectif global du projet qui est d'identifier les leviers d'action pour améliorer la santé des ruminants, afin de limiter l'utilisation d'intrants médicamenteux de synthèse dans les élevages de ruminants en AB, et de produire des dispositifs de conseil et de formation adaptés aux éleveurs biologiques. Ces leviers sont recherchés dans l'organisation du conseil ainsi que dans les informations, les outils et les savoirs mobilisés par les éleveurs et les professionnels de l'élevage pour la prévention et la surveillance de la santé de leurs animaux, dont les connaissances sur l'équilibre sanitaire. OTOVEIL est ainsi organisé en quatre actions complémentaires :

- 1) Le conseil sur la gestion sanitaire en élevage AB, caractérisation de leurs fonctionnements et proposition d'un outil interactif au service du conseil de groupe
- 2) Caractérisation des troupeaux biologiques en « équilibre sanitaire » et identification des déterminants de cet équilibre
- 3) Méthodes pour la prévention et la détection précoce des déséquilibres
- 4) Interaction et analyse transversale. Production collective et pédagogique. Coordination / valorisation

Mon stage s'inscrit dans l'action 2, co-animée par Gwenaël Vourc'h de l'unité EpiA de l'INRA et Cécile Cluzet du CIVAM Bio Ariège (09). Je vais donc me focaliser dans la suite de ma présentation sur cette action.

Figure 1: Schématisation de mon contexte de stage: mon stage à EpiA et sa place dans l'action 2 du projet OTOVEIL



2. Présentation de l'action 2 du projet OTOVEIL

a. La question de recherche et les objectifs

Les fondements de l'Agriculture Biologique reposent sur une approche globale du système d'exploitation, dans laquelle la santé du sol, des plantes et des animaux résulte d'un équilibre total (Objectifs généraux du règlement CE n°834/2007). Au niveau de l'animal et du troupeau, l'occurrence d'une pathologie ou d'un trouble des performances techniques peut donc être vue comme une perte d'équilibre de la santé, consécutive à des mesures préventives inappropriées (Cabaret et Nicourt, 2009). L'AB semble donc être un bon « terreau » pour travailler sur la notion d'équilibre sanitaire. Cependant, la littérature est peu abondante sur cette question, si bien que l'existence même de tels états d'équilibre est en débat.

Ainsi, au niveau du troupeau, l'état d'équilibre sanitaire existerait mais n'est pas objectivé. Il est appréhendé par certains éleveurs biologiques et /ou leur conseillers comme un troupeau avec peu d'animaux malades, recevant peu d'intrants médicamenteux (antibiotique et antiparasitaire), et serait plus ou moins stable dans le temps. Une perte d'équilibre à l'échelle du troupeau se caractérise par différents troubles, l'expression d'une ou plusieurs maladies, et des affections du bien-être animal (Experton, 2014). C'est cette définition que nous avons retenue comme référence commune dans le projet et qui constitue la base de notre réflexion. Un des objectifs de cette action est de la préciser, notamment à travers une recherche bibliographique, elle pourra donc évoluer au fil de nos lectures et de nos résultats. L'objectif suivant est de construire une méthodologie qui permette d'objectiver et de mieux caractériser cet « état d'équilibre » du point de vue de la santé, par des outils statistiques, grâce à des bases de données collectées en fermes expérimentales. Enfin, il s'agira de comprendre les dynamiques de l'équilibre sanitaire (comment il s'établit et comment il se déséquilibre) dans les élevages de ruminants. L'objectif sera donc d'identifier les déterminants épidémiologiques et/ou socio-techniques de cet équilibre. On peut alors résumer ces trois objectifs en une question de recherche :

Qu'est-ce que l'équilibre sanitaire ?

Comment le définir ?

Comment l'objectiver, l'étudier et le caractériser sur un troupeau donné ?

Comment identifier ses déterminants ?

... pour garantir et améliorer la santé des troupeaux.

Les 2 tâches de l'action 2

Tâche 2.1 : Analyse des données enregistrées sur des sites expérimentaux et lycées agricoles, traitements statistiques analytiques. Cette tâche a pour but de déterminer des indicateurs susceptibles de traduire des variations d'équilibre sanitaire au sein des troupeaux de ruminants et de caractériser les états d'équilibre des troupeaux des différents sites grâce à des développements méthodologiques. Cette tâche permettra ainsi de clarifier la définition d'équilibre sanitaire et proposera une méthodologie pour l'étudier. La tâche 2.1 se déroule de janvier à septembre 2016, comprend six stagiaires, dont quatre élèves ingénieurs et deux étudiantes en licence professionnelle, et est coordonnée par l'UR EpiA.

Tâche 2.2 : Analyse des données sur des fermes commerciales dont les troupeaux sont considérés « en équilibre » ou « en déséquilibre ». L'objectif de cette tâche est de comprendre comment se construit l'équilibre sanitaire d'un troupeau, et quels sont les processus qui mènent à des situations de déséquilibre. Cette tâche comprend une enquête auprès d'une centaine de fermes en agriculture biologique ou à bas intrants, et permettra, grâce à la méthodologie et aux résultats établis par la tâche 2.1, d'identifier des facteurs et des pratiques qui influencent l'équilibre sanitaire des troupeaux. Ces enquêtes seront réalisées entre janvier et juin 2017, et la coordination ainsi que le traitement des données seront sous la responsabilité de l'UR EpiA et du CIVAM Bio Ariège.

b. Organisation de l'action 2

Le projet a identifié six sites expérimentaux qui ont monitoré des systèmes d'élevage sur une dizaine d'années et qui vont nous permettre de faire des traitements statistiques dans le but d'objectiver la notion d'équilibre sanitaire sur différentes productions et différents systèmes. Il s'agit des sites de Redon et d'Orcival rattachés à l'unité Herbipôle du centre INRA ARA de Theix (63) (ovins viande), du domaine expérimental de Mirecourt (88) qui appartient à l'unité INRA ASTER (bovins lait), de la ferme expérimentale de Thorigné-d'Anjou (49) (bovins viande) et de 2 exploitations de lycées agricoles : les CFPPA² de Tullés-Naves (19) (bovins viande) et de Saint-Genest-Malifaux (42) (caprins lait). Par ailleurs, sept groupes d'éleveurs sont disposés à participer au projet à travers des ateliers de travail et de discussion entre éleveurs et des enquêtes en ferme. Il s'agit de l'AVEM³ (12), de l'AVER⁴ (26), du CIVAM⁵ du Haut Bocage (35), du GAB44⁶ (44), du CIVAM BLE (64), du CIVAM Bio Ariège (09), et de la Chambre d'agriculture régionale de Franche Comté (25). Ils recouvrent les productions suivantes: bovins lait et viande, ovins lait et viande et caprins lait. L'action 2 se découpe alors en deux tâches, présentées ci-contre, et mon stage s'inscrit dans la première.

3. Présentation de l'unité d'épidémiologie animale

a. Description de mon organisme d'accueil

Je réalise ce stage au sein de l'unité d'Epidémiologie Animale (EpiA, UR 0346 du département Santé Animale de l'INRA) qui se situe dans le Centre INRA ARA de Theix, sur la commune de Saint-Genès-Champanelle, proche de Clermont-Ferrand.

i. Historique de l'unité

L'unité est créée en 1978 sous le nom de « Laboratoire d'écopathologie ». A l'origine, le laboratoire a pour objectif d'aller au-delà du paradigme « un agent pathogène - une pathologie » qui ne permet plus d'expliquer la plupart des maladies d'élevage. Ce laboratoire travaille ainsi sur des maladies multifactorielles avec des approches systémiques, qui ont pris le nom d'écopathologie, et a pour principal objet de recherche des pathologies dites « endémiques » d'élevage telles que les mammites des vaches laitières (cf. figure 2 ci-après).

² Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole

³ Association Vétérinaire des Eleveurs du Millavois

⁴ Association Vétérinaire des Eleveurs de la Raye

⁵ Centre d'Initiatives pour la Valorisation de l'Agriculture et du Milieu Rural

⁶ Groupement d'Agriculture Biologique de Loire Atlantique

En 1999, suite à la crise de la vache folle et à l'émergence de maladies infectieuses, l'unité prend un tournant en décidant de s'orienter officiellement vers une approche épidémiologique, elle prend alors le nom d'unité d'Epidémiologie Animale (EpiA). De 2003 à 2010 le projet scientifique de l'unité se concentre sur l'analyse et la modélisation de maladies contagieuses émergentes. EpiA travaille ainsi sur l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), la fièvre aphteuse ou encore la grippe aviaire. Au même moment, l'unité grossit en ouvrant 19 postes. Elle passe ainsi de 12 à 31 membres dont 19 titulaires.

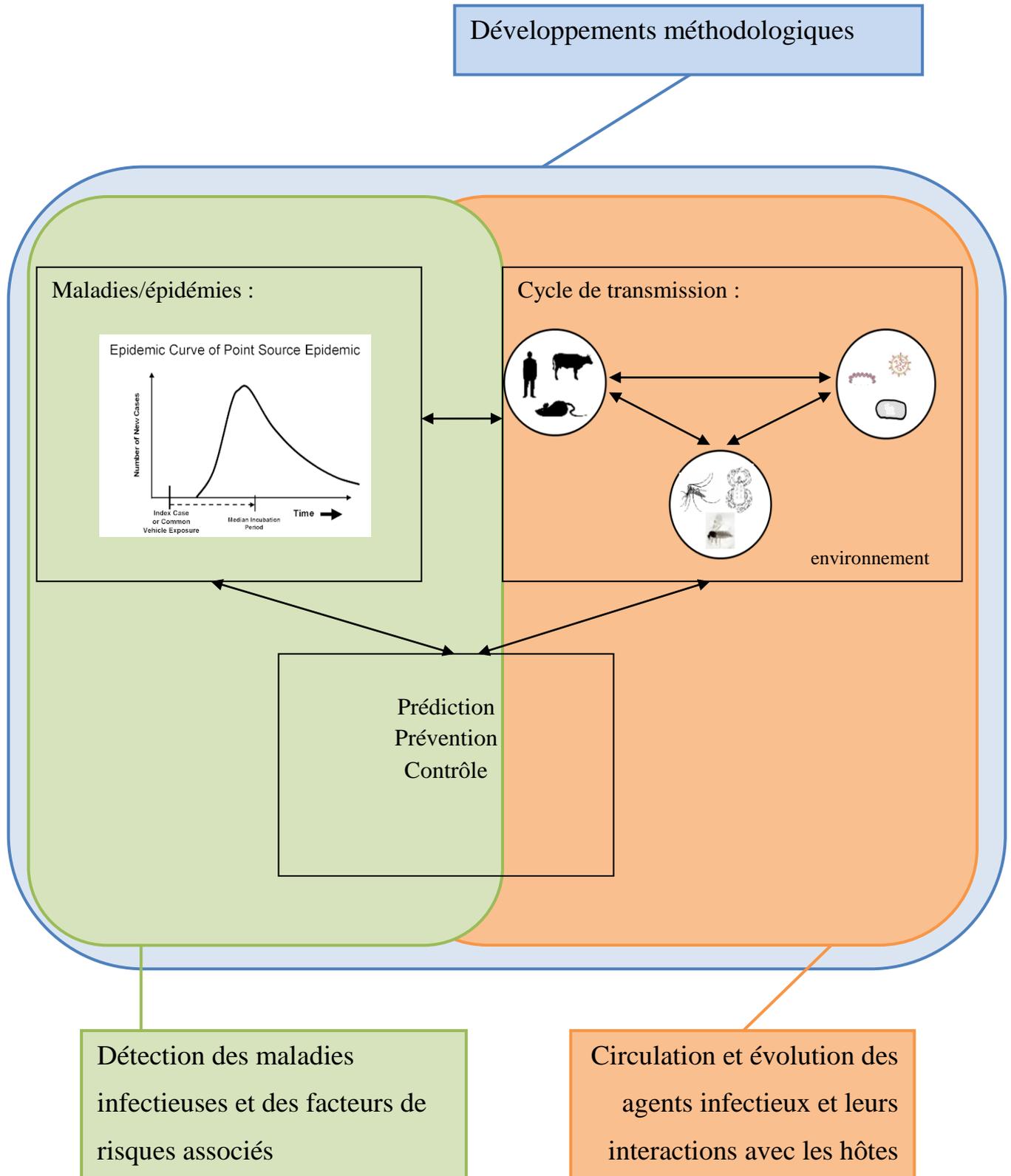
En 2011, l'unité intègre l'écologie à son approche épidémiologique et le projet de recherche évolue en intégrant des processus et des problématiques écologiques. En combinant ainsi l'écologie à l'épidémiologie, l'unité change à nouveau de paradigme en s'inscrivant dans le courant de pensée « One Health ». EpiA se recentre ainsi sur l'épidémiologie des maladies animales infectieuses en relation avec la diversité et le changement global. Les recherches de l'unité portent alors sur des agents pathogènes et des maladies présentant un intérêt en termes de santé animale ou de santé publique. L'unité travaille notamment sur des maladies à vecteurs (maladie de Lyme, fièvre catarrhale ovine et anaplasmose granulocytaire) et des maladies à transmission directe comme la fièvre Q et la grippe aviaire, démontrant un intérêt particulier pour les zoonoses (maladies animales transmissibles à l'homme et vice versa).

Aujourd'hui, et pour la période 2017-2021, EpiA renforce son approche transdisciplinaire, à l'interface entre épidémiologie, écologie et évolution, en créant prochainement une UMR (Unité Mixte de Recherche) avec VetAgro Sup, l'école vétérinaire de Lyon localisée à Marcy l'étoile, avec laquelle elle travaille déjà depuis quelques années. A cette occasion, l'unité va changer de nom en devenant l'UMR Epidémiologie des maladies Animales et Zoonotiques, ce qui accentue son intérêt pour les zoonoses et la santé publique. Son travail sera alors organisé en trois thèmes : la détection des maladies infectieuses et des facteurs de risque, la circulation et l'évolution des agents pathogènes, et le développement de méthodes, qui viennent remplacer les deux axes : effets des changements majeurs (climat, habitat, pratiques agricoles) et les effets de la diversité des hôtes et des pathogènes (l'axe méthodologique reste identique).

i. Les thèmes de recherche

Les principaux objectifs du thème « détection des maladies infectieuses et des facteurs de risque » sont de mieux et davantage intégrer des données cliniques, et de s'intéresser davantage aux pratiques agricoles et à la santé animale dans les fermes, en rapport avec les préoccupations environnementales et le souci de réduire les intrants. Les travaux majeurs

Figure 4: Schéma de l'objectif général du projet de recherche d'EpiA: L'épidémiologie des maladies infectieuses en relation avec les processus écologiques et le changement global



qui s’y rapportent traitent de la surveillance et de l’épidémiologie des maladies vectorielles, de la dynamique spatiale de la leptospirose, de l’usage des antibiotiques et des résistances associées, et de l’élevage biologique et l’équilibre sanitaire.

Le thème « circulation et évolution des agents pathogènes » se focalise sur : la combinaison de données phylogéniques et géographiques, l’association des approches épidémiologiques et microbiologiques, et la compréhension du rôle du microbiote. Ce thème regroupe des projets qui traitent de la maladie de Lyme (phylogénie, répartition et abondance des tiques), de la leptospirose (les hôtes réservoir et l’évolution des pathogènes), de la fièvre Q et des pathogènes de maladies abortives (diversité et environnement), de l’hantavirus (le rôle des hôtes), et du microbiote (son rôle sur la transmission de pathogènes).

Enfin, le dernier thème « développement méthodologique » a pour mission d’optimiser les analyses statistiques et l’informatique, de travailler sur les interactions, notamment les corrélations et les relations de dépendance, et d’accentuer le transfert de connaissances et de résultats par le développement de logiciels. Quatre projets majeurs s’y rattachent et portent sur : l’optimisation numérique, les statistiques spatiales, les techniques d’échantillonnage, et l’étude des réseaux de pathogènes (voir figure ci-contre et annexes 11 et 12).

b. Les intérêts d’EpiA pour OTOVEIL

OTOVEIL s’inscrit dans le premier thème du projet de recherche d’EpiA, et dans l’objectif « Elevage biologique et équilibre sanitaire ». L’unité est particulièrement intéressée par ce projet pour trois raisons. Tout d’abord parce qu’il s’intéresse à la relation entre des processus écologiques et la santé animale ; ensuite car il s’inscrit dans la thématique agro-écologique, problématique centrale à l’INRA et qui se retrouve dans le projet d’EpiA ; et enfin parce qu’il est très complémentaire d’un autre projet auquel participe l’unité, le projet EquiBio « Maintenir l’équilibre : concept et approche pour la santé et le bien-être animal en élevage biologique de ruminants » (Bareille, 2015) du métaprogramme GISA (voir annexe 13). En contribuant à OTOVEIL, EpiA peut donc enrichir la réflexion sur l’équilibre sanitaire tout en continuant à s’investir dans le GISA et ses thèmes de recherche.

a. Le financement de mon stage

Mon stage est financé par trois sources de financement. Tout d’abord, la collaboration d’EpiA avec l’ITAB et l’IDELE sur le projet OTOVEIL lui permet de recevoir un financement du GIS Elevage Demain pour accueillir un stagiaire pendant six mois. Mes indemnités de stage

L'essentiel sur mes missions de stage en 5 points

- 1) caractériser les notions d'équilibre et de déséquilibre,
- 2) sélectionner des indicateurs pouvant traduire les variations d'équilibre sanitaire en système bovin laitier biologique,
- 3) identifier les périodes d'équilibre et de déséquilibre sur le système herbager de Mirecourt, sur une période de 11 ans,
- 4) Emettre des hypothèses sur les facteurs d'équilibre et de déséquilibre, d'après les connaissances du système et des pratiques d'élevage de Mirecourt,
- 5) Coordonner et animer une partie de l'action 2 en rapport avec l'analyse des bases de données des différents sites d'exploitation.

Livrables :

A l'issue de mes six mois de stage je devrai ainsi livrer une synthèse bibliographique sur la définition du concept d'équilibre sanitaire, une méthodologie pour objectiver et caractériser cette notion à l'échelle d'un troupeau de ruminants, une identification des périodes d'équilibre et de déséquilibre de la santé du troupeau d'étude entre 2005 et 2015 et une interprétation de ces périodes.

sont ainsi payées par la bourse de ce GIS, d'un montant de 3325€. Les frais de fonctionnement sont eux financés par le budget OTOVEIL (assigné à un stage de six mois à EpiA), et par les financements INRA attribués à EpiA pour son fonctionnement.

b. La question qui m'est posée

Pour réaliser ce stage, je suis co-encadrée et accompagnée par Patrick Gasqui, Ingénieur d'Etude en statistiques et modélisation et Gwenaél Vourc'h, Directrice de Recherche et Directrice de l'unité EpiA. L'objectif général du stage est de mettre au point une méthodologie qui permette de caractériser l'état d'équilibre sanitaire des élevages de ruminants en AB (voir schéma de synthèse ci-après). Pour ce faire, nous devons disposer des bases de données des six sites expérimentaux décrits plus haut. J'aurais ainsi travaillé sur sept systèmes d'élevages différents et cinq filières.

Cependant, le projet a sous-estimé la durée de la phase de collecte des données et le travail de réflexion autour de la notion d'équilibre et du développement méthodologique. Enfin, les sites expérimentaux qui ont recruté une stagiaire ont finalement demandé à traiter eux-mêmes leurs données. Aussi, l'objet de mon stage a un peu évolué et s'est recentré sur le site de Mirecourt. Parallèlement à cela, G. Vourc'h m'a transféré la responsabilité d'une grande partie de la coordination et de la communication entre les différents stages de l'action 2. Je suis ainsi chargée de transférer à nos partenaires la méthodologie que l'on a développée à EpiA.

Je travaillerai donc à l'échelle d'un troupeau, celui de l'unité ASTER Mirecourt (bovin lait), dans le but de caractériser les périodes d'équilibre et de déséquilibre de la santé du troupeau. J'aurai également pour mission de travailler avec mes encadrants sur la définition d'une méthodologie qui permette de caractériser l'équilibre sanitaire d'un troupeau, et de transmettre cette méthodologie aux autres stagiaires de l'action 2. Je suis ainsi chargée de collaborer avec quatre autres stagiaires pour les aider à adapter la méthode aux systèmes d'élevage sur lesquelles elles travaillent (voir détail de mes missions ci-contre).

L'enjeu est assez fort car nos résultats sont très attendus dans OTOVEIL. En effet, ils définiront en partie la suite de l'action 2, c'est-à-dire l'enquête nationale auprès d'une centaine de fermes commerciales, et en particulier les données collectées en ferme. Par ailleurs, EpiA exprime des attentes assez fortes sur ce stage car les résultats pourraient être très complémentaires des travaux que l'unité mène dans le projet EquiBio. Mes travaux seraient en outre susceptibles de faire l'objet d'une publication scientifique.

Qu'est-ce que l'agriculture biologique ?

L'agriculture biologique a cette particularité de pouvoir être définie de différentes manières selon qu'elle est considérée :

- comme un mode de production - compris comme un ensemble de pratiques et de savoirs,
- comme un cahier des charges qui définit par une liste de possibles et d'interdits des obligations de moyens,
- ou comme quelque chose de plus globale : une philosophie, une idéologie, un paradigme, c'est-à-dire un système de représentations partagées qui guident les recherches en définissant les problèmes à investiguer et ce qui est acceptable en résultats.

Ainsi, voici plusieurs définitions que j'ai pu relever dans mes recherches et qui allient plusieurs de ces conceptions de l'AB.

« La production biologique est un **système global de gestion** agricole et de production alimentaire qui allie les **meilleures pratiques environnementales**, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de **normes élevées** en matière de **bien-être animal** et une méthode de production respectant la préférence de certains consommateurs à l'égard de produits obtenus grâce à des substances et à des **procédés naturels**. » (RCE 834/2007).

« L'agriculture biologique est un **mode de production** et de **transformation** respectueux de l'environnement, du bien-être animal et de la biodiversité, qui apporte des **solutions face au changement climatique**. » (Agence BIO [en ligne]).

« L'agriculture biologique constitue **un mode de production** qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du **respect des équilibres naturels**. » (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt [en ligne]).

« [L'AB] C'est aussi un mode de production qui **exclut l'usage des OGM** et qui **limite le recours aux intrants**, en privilégiant l'emploi de ressources naturelles et renouvelables dans le cadre de systèmes agricoles organisés à l'échelle locale, et en **restreignant strictement l'utilisation de produits chimiques de synthèse**. [...] En résumé, l'Agriculture Biologique c'est **un système de gestion durable** pour l'agriculture, une grande variété de produits agricoles et alimentaires de **qualité**, une source d'**innovations** pour l'agriculture, dans une **approche agro-écologique**. » (INAO [en ligne]).

D'après un texte de l'IFOAM, l'AB repose sur quatre principes éthiques: le principe de santé, le principe d'écologie, le principe d'équité et le principe de précaution.

Le principe de la santé : « L'agriculture biologique devrait **soutenir et améliorer la santé** des sols, des plantes, des animaux, des hommes et de la planète, comme étant une et indivisible. »

Le principe de l'écologie : « L'agriculture biologique devrait être basée sur les cycles et les systèmes écologiques vivants, s'accorder avec eux, les imiter et les aider à se maintenir. »

Le principe d'équité : « L'agriculture biologique devrait se construire sur des relations qui assurent l'équité par rapport à l'environnement commun et aux opportunités de la vie. »

Le principe de précaution : « L'Agriculture Biologique devrait être conduite de manière prudente et responsable afin de protéger la santé et le bien-être des générations actuelles et futures ainsi que l'environnement. » (IFOAM [en ligne]).

III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans cette synthèse bibliographique je vais tenter de **définir** les **notions d'équilibre et de déséquilibre sanitaire** d'après les connaissances que nous apportent les chercheurs, les « agents du terrain » (conseillers, techniciens, organismes d'appui et de développement agricole, vétérinaires, etc.) mais aussi les éleveurs. Il s'agira également de **justifier** notre **intérêt** particulier pour **l'agriculture biologique** et de **clarifier**, dans ce cadre, ce que l'on entend par « **santé animale** » et en particulier en quoi consiste un état de « **bonne santé** ». Par ailleurs, j'essaierai d'**identifier des outils** et des **démarches méthodologiques** qui pourraient nous être utiles pour étudier l'équilibre sanitaire d'un élevage. Enfin, je vais également chercher à **déterminer** des **indicateurs** qui permettraient de caractériser et de suivre dans le temps l'équilibre sanitaire d'un **troupeau de vaches laitières biologiques**.

1. Sur la caractérisation des notions d'équilibre et de déséquilibre de la santé des troupeaux

a. Le paradigme de l'agriculture biologique

L'AB semble être un angle d'approche intéressant pour étudier les notions d'équilibre et de déséquilibre de la santé. En effet, dans les fondements mêmes de l'AB sont présents des concepts et des expressions qui mentionnent l'existence de ces états. De plus, si la notion de « troupeau en équilibre » est familière aux acteurs de l'AB, elle n'est jamais évoquée en élevage conventionnel (Bareille, 2014).

Dans sa définition des objectifs de l'agriculture biologique, le règlement R (CE) N° 834/2007 stipule que l'AB doit « établir un système de gestion durable [...] qui respecte les systèmes et les cycles naturels et **maintient et améliore la santé** du sol, de l'eau, des végétaux et des animaux, ainsi que **l'équilibre** entre ceux-ci ». De plus, « l'élevage biologique devrait respecter des **normes élevées** en matière de **bien-être animal** et répondre aux **besoins comportementaux** propres à chaque espèce animale, et la gestion de la santé devrait être axée sur la **prévention des maladies**. » La préservation de la santé animale passe ainsi par la stimulation « des **défenses immunologiques naturelles** [...] et la sélection de **rares** et de **pratiques d'élevage appropriées** ». Il s'agit en particulier d'offrir aux animaux une alimentation de qualité supérieure (sans produits chimiques ni OGM), l'accès au plein air, des possibilités d'exercice physique, des conditions de logement et de pâture qui respectent une densité minimale et un certain niveau d'hygiène.

Santé animale et marges de manœuvres en AB

ce que nous apprend le R (CE) N° 889/2008

Le règlement R (CE) N° 889/2008 prévoit les réactions appropriées de l'éleveur biologique en cas de maladies. Ainsi, l'animal malade sera traité de préférence par des méthodes homéopathiques, phytothérapeutiques et/ou des oligo-éléments. En effet, le recours aux traitements curatifs de type allopathiques de synthèse et antibiotiques sont limités à 3 par animal et par an (1/animal/an pour des animaux dont la durée de vie est inférieure à un an) et sont placés sous la responsabilité d'un vétérinaire. Cette limitation ne concerne pas les antiparasitaires, les vaccins, ni les plans d'éradication obligatoires. En effet, ces derniers ne sont soumis à aucune limitation. Par contre, les délais d'attente sont doublés par rapport aux délais d'attente en élevage conventionnel pour tout type de traitement. En cas de dépassement des seuils autorisés, ou de non respect des délais imposés, les animaux et/ou les produits perdent la certification. Les animaux doivent alors rentrer de nouveau dans une période de conversion (6 mois).

La conversion à l'AB : une période de déséquilibre et de réajustement des conceptions et des pratiques des éleveurs

Lors de cette phase de conversion, les éleveurs modifient leurs façons de faire et leurs façons de voir, de penser les choses, ils se créent un nouveau référentiel (de pratiques). Il s'agit d'un apprentissage long et non linéaire qui implique une perte (ou, tout du moins, une baisse du niveau) de maîtrise transitoire dans la gestion de l'exploitation (Darré, 2006). Un déséquilibre de la santé peut ainsi être induit par un **décalage** entre les conceptions et les pratiques de ces éleveurs en matière de santé, par un **manque de savoir-faire**, et donc par des **pratiques inadaptées** (Darré, 2006 ; Patout, 2014). La mission des organismes qui accompagnent ces exploitations dans leur conversion est donc, entre autre, de limiter les impacts non souhaités de ces perturbations en travaillant avec les éleveurs à réduire ce déséquilibre. Cela signifie d'aider les éleveurs à s'approprier de nouvelles pratiques, adaptées à leur nouveau système, et à se construire de nouvelles conceptions (Darré, 2006).

Si la gestion de la santé en conventionnel est également essentiellement axée sur la prévention des maladies, on notera que le conventionnel est bien moins contraint que le Bio, notamment en termes de traitements (cf. encadré 8 ci-contre) et que cela induit des approches différentes.

La **conversion à l'AB** est ainsi considérée par les organismes de développement de la Bio comme un **changement d'état** d'un système initial vers un nouveau système. Les modifications induites par ce changement sont importantes et perturbent le système en profondeur (voir encadré 7 ci-contre). Ces perturbations peuvent ainsi avoir des répercussions visibles sur le parcellaire et le troupeau (sur la santé des animaux par exemple), sur les produits de l'exploitation, et donc sur la comptabilité de l'éleveur. Cette **période de transition**, pouvant durer de 5 à 10 ans, constitue une **phase de déséquilibre** (Experton, 2014 ; Nicourt et Cabaret, 2009).

L'AB repose sur une approche systémique (ou globale ou intégrée) de la production. Ainsi, la gestion de la santé animale en Bio met l'accent sur une approche préventive en se focalisant sur la prévention des risques sanitaires, on parle aussi de « **gestion intégrée de la santé animale** ». Cela se traduit sur les exploitations biologiques par la **recherche d'un équilibre de la santé du troupeau**, et de manière plus globale, par la recherche d'un équilibre entre les pratiques des éleveurs et leur environnement (Experton, 2014). Quand les mesures préventives sont insuffisantes, les éleveurs Bio doivent pouvoir avoir recours à des pratiques alternatives (ex : homéopathie, phytothérapie, aromathérapie) aux traitements allopathiques de synthèse (Grosmond, 2016, Patout, 2014). Or ces éleveurs sont également soumis à un cadre réglementaire très strict, complexe, parfois mal adapté à leur situation, qui peut constituer un frein dans leur appropriation de ces méthodes alternatives (Lardy et Issautier, 2016). Parallèlement à ce constat, le séminaire entre l'ITAB et l'INRA, « L'approche globale pour la santé des élevages biologiques. Des besoins du terrain à la formulation » organisé en 2013, a permis d'identifier une forte demande de références sur cette approche globale de la gestion de la santé animale mise en place par les éleveurs biologiques. En particulier, ce séminaire identifie deux axes de recherche : le lien entre pratiques d'élevage et facteurs de risque, et l'appréciation de l'équilibre d'un troupeau (Experton, 2014).

b. L'approche globale de la santé des troupeaux

L'AB a cet avantage de nous placer de fait dans une approche systémique de l'élevage. Or cet angle de vue semble indispensable à l'étude de l'équilibre sanitaire. C'est ce que nous allons montrer dans les points suivants.

Approche Biologique vs conventionnelle en santé animale, l'opposition de deux modèles de pensée

Cabaret et Nicourt distinguent deux modèles de pensée qui différencient les éleveurs conventionnels des éleveurs Bio. Il s'agit d'une part d'un modèle ontologique et additif, et d'autre part d'un modèle fonctionnel et soustractif. Dans un cas, la maladie est le résultat de bio-agresseurs, dans l'autre le normal et le pathologique sont décrits en termes d'équilibre et de déséquilibre. Ainsi, si les éleveurs conventionnels ont tendance à raisonner la maladie en termes additifs comme la présence en plus d'un agent pathogène responsable de la maladie, les éleveurs biologiques vont eux davantage réfléchir la maladie comme la perte de santé, le résultat d'un déséquilibre de l'animal dans son environnement, d'un dysfonctionnement du système d'élevage. Ainsi, si en conventionnel on recherche à éliminer l'agent responsable de la maladie, en Bio on cherche plutôt à compenser, à compléter l'animal ou à réajuster les pratiques pour aider l'animal à rétablir son équilibre (Cabaret et Nicourt, 2011).

Conceptions et principes de la santé en Bio

Le principe de santé développé par l'IFOAM nous éclaire sur la conception globale de la santé telle qu'elle est pensée en AB, ou tout du moins en principe. Ainsi, « [...] la santé des individus et des communautés ne peut être séparée de la santé des écosystèmes - un sol sain produit une culture saine qui donnera la santé aux animaux et aux personnes. **La santé est la globalité et l'intégrité des systèmes vivants. Ce n'est pas seulement l'absence de maladies, mais le maintien d'un bien-être physique, mental, social et écologique.** L'immunité, la résilience et la régénération sont les caractéristiques clef de la santé. » (IFOAM, s.d.).

i. Ce que nous apprennent les chercheurs

L'étude et la caractérisation de l'équilibre sanitaire requièrent une approche systémique de l'élevage (Camara, 2015). Cabaret et Nicourt font en plus remarquer que ce type d'approche est plus abouti chez les éleveurs biologiques que chez les éleveurs conventionnels (voir encadré ci-contre). En effet, les préoccupations des éleveurs biologiques renvoient à un problème sanitaire différent. Plutôt que de savoir *comment prévenir et éradiquer les maladies*, ils se demandent *comment faire pour que mes animaux soient en bonne santé et le restent* (Cabaret et Nicourt, 2011). Par ailleurs, la thèse de Camara suggère que l'équilibre sanitaire serait imbriqué dans un équilibre plus global. L'équilibre de la santé du troupeau serait ainsi dépendant de l'équilibre du système d'élevage, et cet équilibre global serait caractérisé par la constance de ses caractéristiques (courbe de production laitière, taux, etc.). Cette constance est cependant permise par la dynamique des différentes composantes du système (nombre d'animaux, parcellaire, pratiques d'élevage, etc.) qui lui permettent de s'adapter aux contraintes qui lui sont imposées. Donc si l'ensemble des caractéristiques de l'élevage sont constantes, le troupeau est à l'équilibre sanitaire (Camara, 2015).

i. Ce que nous apprennent les agents du terrain

Une approche alternative et globale de la santé consisterait alors en la recherche d'un équilibre (IFOAM, s.d., cf. encadré 9). Il existe ainsi de multiples thérapeutiques, comme l'homéopathie, l'acupuncture ou la médecine manuelle, dont le but est de rétablir et/ou de maintenir l'équilibre. Ce changement d'approche et de pratiques induit aussi des rapports différents entre l'éleveur et ses animaux, entre les intervenants et les animaux, mais aussi entre l'éleveur et les personnes qui interviennent sur son troupeau et sa ferme (Issautier, Lardy, Sawaya, 2016). La santé animale est ainsi définie comme « un état d'équilibre apporté par l'homéostasie, l'immunité et la symbiose avec les micro-organismes » (voir figures annexe 3). La bonne santé consiste alors en un état d'équilibre stable (Grosmond, 2016).

Cet état d'équilibre de la santé reposerait sur 6 piliers qui influencent la flore microbienne du troupeau (cf. figure 5). Il suffirait qu'un d'entre eux soit le lieu d'un changement brutal pour entraîner un déséquilibre. Mais, la plupart du temps, ce serait l'action combinée de divers changements brusques qui, par synergie, fragilisent les équilibres du système et entraîneraient un déséquilibre de la santé du troupeau. Dans certaines conditions, cela conduirait à du stress chez les animaux, qui peut entraîner une dégradation des performances zootechniques, l'occurrence de pathologies, voire de la mortalité (Miller et al., 1993 ; Patout, 2014).

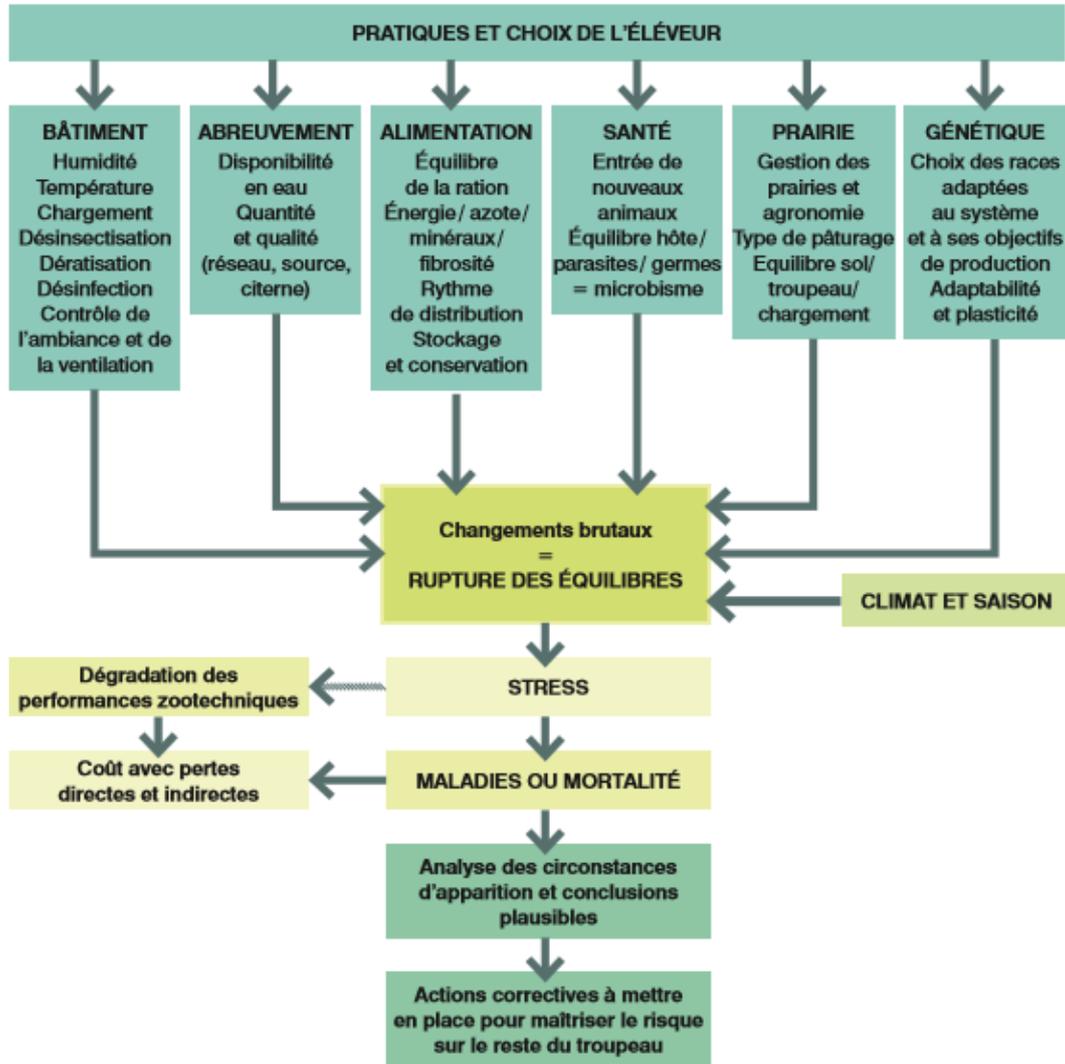


Figure 5: Les piliers de l'équilibre sanitaire - Olivier Patout, 2014

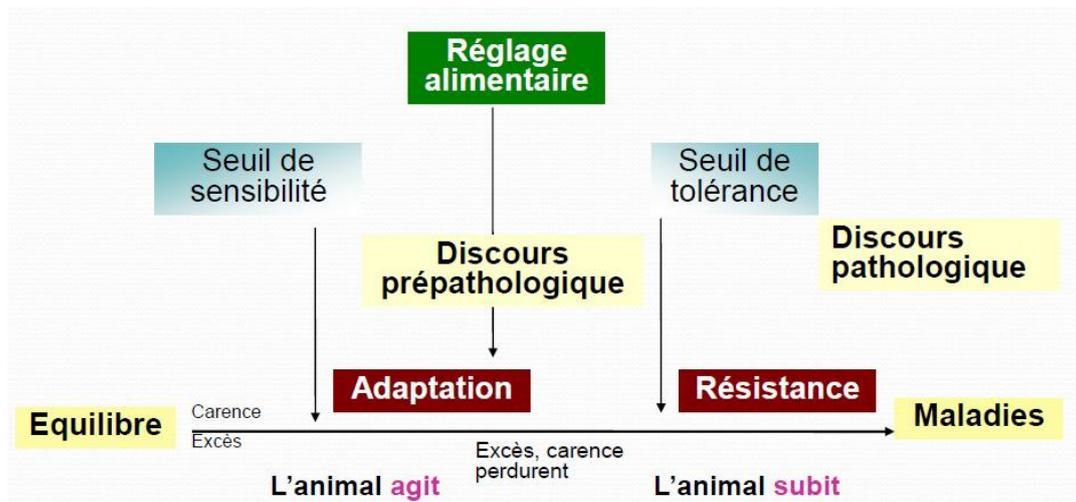


Figure 6: Le continuum entre équilibre et maladie - Denis Fric, 2016

Discours pré-pathologique : ensemble de signes, de symptômes alimentaires (comme des signes de carences) et de comportements des animaux qui traduisent leur adaptation et leur tolérance face à une agression ou un changement (Ducrot C., à paraître)

L'hypothèse proposée ici par Olivier Patout, vétérinaire à l'AVEM, est que si le système est équilibré (respecte des cycles naturels et la régénération des ressources), la génétique bien adaptée aux conditions environnementales, et que les pratiques d'élevage sont bien maîtrisées, alors il est possible de prévenir les maladies et donc de maintenir l'équilibre. La santé du troupeau est ainsi définie comme « l'état d'équilibre entre le troupeau et ses flores microbiennes et/ou ses parasites ». Ainsi « une rupture du microbisme au niveau du troupeau [...] est souvent sources de maladies » (Patout, 2014).

Pour prévenir ces déséquilibres, Denis Fric, vétérinaire, insiste sur l'importance de l'observation des animaux, et notamment de leur « discours pré-pathologiques », afin de détecter précocement les troubles. Ainsi la correction des facteurs de risque⁷ avant le dépassement d'un certain seuil de tolérance permettrait d'éviter que l'animal ne manifeste des signes pathologiques et rétablirait l'équilibre (Fric, s.d.). L'équilibre du système d'élevage, soumis aux aléas du climat et des conjonctures économiques (en particulier des filières agricoles), et aux changements des pratiques de l'éleveur, est ainsi en constante évolution. « **Cet équilibre n'est donc pas statique mais dynamique** » (Ducrot et al., à paraître).

ii. Ce que nous apprennent les éleveurs

Certains témoignages d'éleveurs biologiques confirment cet aspect dynamique et prévisible en soulignant que cet équilibre est plus ou moins stable et que ses variations sont prévisibles (Experton, 2014, Bareille & Hellec, 2014). Les éleveurs biologiques adoptent une approche holistique, multifactorielle, et ajustent en permanence leurs pratiques en fonction de leurs observations (Bouy & Ruault, 2015). Il s'agit donc d'un constant rééquilibrage. Par ailleurs, les éleveurs définissent leurs pratiques et mettent en place leurs stratégies sanitaires d'après leurs conceptions de la santé des animaux (Nicourt et al., 2009). Ainsi, la distinction entre l'animal sain et malade, entre le « normal » et le pathologique, est issue d'une expérience qui a permis aux éleveurs de définir ce qu'ils considèrent comme un équilibre sanitaire dans leur élevage (Canguilhem, 1966 ; voir encadré ci-après). Cet équilibre est donc propre à un élevage et dépend de l'expérience et des conceptions de l'éleveur (voir annexe 22). On devine alors qu'il pourrait exister une notion de niveau d'équilibre selon l'importance et le temps accordé à l'observation des animaux, la capacité de détecter les signes pré-pathologiques et les animaux malades, selon les proportions d'animaux sains et malades tolérées par l'éleveur, et les signes associés à la distinction entre ces deux états de santé.

⁷ Ces facteurs de risque renvoient aux 6 piliers mentionnés ci-avant

Les pratiques sanitaires des éleveurs, entre diversité des ressources et contraintes du cahier des charges AB

Les éleveurs Bio ont recours à une grande variété de pratiques alternatives (aromathérapie, homéopathie, ostéopathie, phytothérapie, magnétiseurs, rebouteux, etc.) qu'ils associent le plus souvent en créant ainsi une multitude de combinaisons de traitements (Bouy & Ruault, 2015). Mais le temps d'apprentissage est long et l'appropriation de ces techniques dépend aussi des ressources auxquelles l'éleveur a accès. Bouy et Ruault relèvent aussi que dans l'ensemble des ressources mobilisées par les éleveurs, ces derniers se retrouvent parfois confrontés à des contradictions, par exemple entre les conceptions de la santé du vétérinaire conseil (parfois conventionné avec des groupes d'éleveurs) et celles du vétérinaire de proximité, qui intervient ponctuellement et individuellement sur les troupeaux. Ces contradictions peuvent poser problème dans la gestion sanitaire de l'éleveur (Bouy & Ruault, 2015). De plus, le cahier des charges AB contraint les éleveurs plus qu'il ne les guide. Il ne constitue pas une ressource et encore moins un outil de décision dans leurs activités quotidiennes. En outre, des éleveurs Bio soulignent le manque de formation et d'accompagnement de l'AB et se plaignent parfois de l'absence de groupes d'échange ou de rencontres trop peu fréquentes. On comprend alors que leurs pratiques se sont construites avant tout par des séquences d'essai-erreur et sont donc le fruit de leur propre expérience (Nicourt et al., 2009).

Qu'est-ce que de la résilience ?

La résilience est appréhendée de différentes manières selon les disciplines (Döring, 2015). En écologie, la résilience peut être définie comme la vitesse de guérison ou de rétablissement d'un individu ou d'une entité (Westman, 1978 ; Lavorel et al., 1999) ou comme la capacité d'un système à résister aux perturbations et à regagner un état d'équilibre stable après un changement (Larsen, 1995 ; Manyena, 2006 ; Haines, 2009). En psychologie et en médecine, la résilience est plutôt définie comme la capacité d'un individu à faire face et à surmonter le stress et des situations éprouvantes (Wu et al., 2013 ; Luthar et al., 2000). Enfin, en agriculture, la résilience est parfois évoquée comme un pouvoir tampon. Dans tous les cas, ce concept renferme trois étapes : réponse, perturbation, issue. En effet, la résilience est toujours plus ou moins définie comme la capacité d'un système ou d'un individu à réagir (réponse) face à une force extérieure (perturbation) et à présenter de nouvelles caractéristiques à l'issue de la réponse (issue) (Döring, 2015).

c. Une approche par la résilience

La résilience est une notion proche de celle d'équilibre qui peut contribuer à une définition plus dynamique de l'équilibre sanitaire. De plus, cette notion présente l'avantage d'avoir été davantage étudiée que celle « d'équilibre sanitaire ». La résilience est aussi un concept complexe dont la définition est en discussion (Döring, 2015 ; cf. encadré ci-contre).

La notion de résilience se rapproche de l'homéostasie et de l'équilibre dans le sens où elle renvoie aussi au maintien d'équilibres et aux bornes du système étudié. Mais la résilience se distingue des deux autres notions par une approche plus dynamique. En effet, elle est davantage centrée sur le retour du système à un état d'équilibre stable, qui peut être différent de l'état d'équilibre initial, tandis que l'homéostasie et l'équilibre renvoient à un équilibre figé et se focalise sur le maintien du statu quo (Döring, 2015).

La résilience présente le potentiel d'un critère universel de la santé (des plantes, des animaux, des êtres humains et des écosystèmes). Plus particulièrement, concernant notre problème, elle permet une approche holistique de la santé des animaux plus proche des préoccupations des éleveurs et de la filière biologique. En effet, ce concept dynamique ne réduit pas la santé à l'absence de maladies ou au bien-être animal. La résilience permet une approche plus large de la santé en s'intéressant à la capacité des animaux à réagir et interagir avec leur environnement pour maintenir leur état de bonne santé, dans un environnement sans cesse changeant. Cette approche recouvre ainsi l'étude du corps physique, des émotions et du psychisme, de la physiologie et du comportement animal. De plus, la résilience, comme caractéristique d'un système, présente l'avantage de pouvoir être étudiée à plusieurs échelles, par exemple : l'individu, un groupe ou une population animale (Döring, 2015).

2. Sur la caractérisation de l'équilibre d'un troupeau : les apports méthodologiques en statistiques et probabilités

Si on trouve un certain nombre d'études de la résilience, très peu se sont intéressé à l'équilibre, et encore moins dans le domaine de la santé. Le travail statistique proposé dans le projet OTOVEIL semble très avant-gardiste. Cependant, des développements méthodologiques réalisés dans d'autres domaines pourront nous être utiles dans la construction d'une méthode de caractérisation de l'équilibre d'un troupeau.

a. Une étude de l'équilibre sanitaire des troupeaux

La thèse de Camara a cherché à caractériser l'équilibre sanitaire de troupeaux bovins laitiers en utilisant des données de production laitière, de reproduction et de démographie sur trois ans. Cependant, Camara avait pour objectif de classer des troupeaux selon qu'ils étaient en équilibre ou en déséquilibre sanitaire. Cette approche inter-élevage est donc très différente de la notre (intra-élevage). La méthode utilisée (ACP ou Analyse en Composantes Principales) ne sera donc d'aucune aide. Par contre, le travail réalisé sur la sélection d'indicateurs peut nous être utile (cf. partie III.3) (Camara, 2015).

b. Les apports méthodologiques de l'écologie

Des approches mathématiques de la résilience et de la dynamique des populations en écologie peuvent nous apporter des éléments de réponse sur la manière de caractériser l'équilibre sanitaire. Dans ces deux approches, l'équilibre, ie l'état stable, est caractérisé par une fonction dérivée égale à zéro (Gao, 2016 ; Ginzburg, 1992). Pierre-François Verhulst (1804-1849), mathématicien Belge, développe en 1837 un modèle de croissance soutenu par son équation logistique qui donna son nom au modèle. Ce modèle logistique a ensuite été repris pour modéliser la dynamique des populations en écologie par Pearl et al. en 1925 (Gabriel et al., 2005). Ces modèles permettent de suivre l'évolution d'une variable (ex : taille d'une population) au cours du temps en fonction de trois paramètres : la taille de la population, la capacité biotique du milieu et le taux d'accroissement intrinsèque de la population (Lotka, 1925), ou de cinq : la taille, la mortalité et la natalité, et les flux d'émigration et d'immigration de la population (Verhulst, 1837). Ces modèles (voir annexe 4), adaptés à notre problématique, pourraient nous permettre d'étudier dans le temps la prévalence d'une pathologie comme la croissance d'une population malade. L'équilibre sanitaire correspondrait donc à une stagnation de la population malade, donc à la situation où $dN/dt = 0$.

c. Epidémiologie et lois de probabilité usuelles

Les méthodes développées en épidémiologie permettent d'analyser la fréquence d'apparition d'évènements sanitaires et leur répartition dans le temps. Cette approche peut se révéler utile dans l'étude de l'équilibre sanitaire, défini comme un état influencé par diverses agressions de l'environnement. En particulier, dans cette approche, l'épidémiologie animale a souvent recours à trois lois de probabilité dans un cadre GLM (Modèles Linéaires Généralisés): la loi binomiale, la loi de Poisson et la loi binomiale négative (IDELE, 2011 ; voir annexe 5).

Les GLM permettent d'étudier la liaison entre une variable aléatoire dépendante, aussi appelée variable réponse ou expliquée, notée Y (ex : le nombre d'occurrences d'une pathologie donnée), et un ensemble de variables explicatives, notées X_i (X_1, X_2, \dots, X_k) (ex : la taille de la population à risque N en fonction du temps). Les GLM englobent ainsi le modèle linéaire général, le modèle log-linéaire, la régression logistique et la régression de Poisson. Ces modèles permettent notamment de traiter des variables réponse Y (de comptage ou de proportion) dont la distribution est de type binomiale, Poisson ou binomiale négative (Nelder et Wedderburn, 1972 ; McCullagh et Nelder, 1989 ; Agresti, 2002).

d. Les outils de détection de rupture

Chercher à caractériser les évolutions de l'équilibre sanitaire revient à pouvoir détecter des périodes plus ou moins stables et des moments de rupture dans les variations de l'équilibre sanitaire. Une stratégie consiste à monitorer une variable, c'est-à-dire représenter les valeurs d'une variable suivie au cours du temps, et détecter sur l'ensemble des « points » tracés par la trajectoire de cette variable des périodes stables, c'est-à-dire des valeurs relativement proches ou égales, et des moments de rupture, c'est-à-dire des moments de variabilité importante ou un écart de valeur significatif entre un point et la moyenne des autres points. Un outil capable de détecter des ruptures serait donc suffisant pour identifier les périodes d'équilibre et de déséquilibre, en faisant l'hypothèse que des périodes stables encadrent un moment de rupture. Ce type d'outil a été développé sur R sous le package `changePoint`. Il consiste à détecter un changement de moyenne dans un ensemble de valeurs donné, comme les résidus d'une variable (Killick et Haynes, 2016). Par ailleurs, sur les logiciels de traitement statistique tels que R, lorsqu'il est possible de déterminer a priori des valeurs seuils ou des intervalles de confiances, on peut alors détecter le point où la valeur de la variable étudiée est supérieure, ou inférieure au seuil défini.

3. Sur la sélection d'indicateurs pertinents pour étudier la santé des troupeaux bovins laitiers biologiques

L'équilibre sanitaire des troupeaux peut donc être évalué directement à travers leur état de santé. Cela implique de pouvoir déterminer des critères de bien-être animal et de santé pertinents. De plus, l'équilibre sanitaire peut aussi être déterminé indirectement à travers des indicateurs zootechniques, des observations sur le troupeau, voire l'analyse des coûts de productions, dont les coûts vétérinaires.

Tableau 1: Grille d'observation des vaches laitières proposée par le projet Welfare Quality - Veissier et al., 2007

Principes	Critères	Mesures prévues dans le projet Welfare Quality® pour les vaches laitières en ferme
Alimentation correcte	Absence de faim prolongée	Etat d'engraissement (pourcentage de vaches trop maigres)
	Absence de soif prolongée	Approvisionnement en eau (nombre d'abreuvoirs, débit, propreté, état de fonctionnement)
Logement adapté	Confort autour du repos	Comportement autour du repos (temps nécessaire pour se coucher, % de vaches entrant en collision avec un élément du logement quand elles se couchent, % de vaches couchées au moins en partie en dehors de la zone de couchage)
		Notes de propreté (mamelle, flanc et cuisses, pattes)
	Confort thermique	<i>Pas de mesure</i>
	Facilité de déplacement	Les animaux sont-ils attachés ?
Accès régulier à une aire d'exercice		
Bonne santé	Absence de blessures	Note de boiterie (gravité et fréquence des boiteries)
		Altérations du tégument (pertes de poils, lésions ou gonflements)
	Absence de maladies	Problèmes respiratoires (toux, éternuements, écoulements nasaux et oculaires, fréquence respiratoire augmentée)
		Problèmes digestifs (diarrhées)
		Problèmes de reproduction (comptage cellulaire, écoulements vulvaires)
		Autres paramètres (mortalité, taux de renouvellement)
Absence de douleurs causées par les pratiques d'élevage	Mutilations de routine (écornage, coupe de la queue ; avec prise en compte de la procédure suivie, de l'âge des animaux et de l'utilisation d'anesthésiques/analgésiques)	
Comportement approprié	Expression des comportements sociaux	Fréquence des comportements agressifs
	Expression des autres comportements	Evaluation qualitative du comportement
	Bonne relation Homme-Animal	Distance de fuite face à un homme inconnu au cornadis
	Absence de peur (en général)	<i>Pas de mesure</i>

a. Les indicateurs directs

La santé animale en Bio étant abordée comme un objectif d'équilibre et de bien-être total plutôt que l'absence de maladies, il semble logique de tenter de caractériser l'équilibre sanitaire à travers des indicateurs de bien-être plutôt qu'à travers des pathologies ou des indicateurs sanitaires conventionnels tels que les taux de morbidité et de mortalité.

i. Les indicateurs de bien-être animal

Il existe une multitude d'indicateurs du bien-être animal (Duncan, 2005 ; voir annexe 6). Le projet Welfare Quality en particulier, a permis de mettre au point une méthode d'évaluation du bien-être animal en élevages (Veissier et al., 2007). Le protocole Welfare Quality appliqué aux élevages de bovins laitiers comprend ainsi 30 mesures agrégées en 12 critères (voir figure ci-contre) qui renvoient aux 5 libertés du bien-être animal (Veissier et al., 2007 ; Blokhuis et al., 2010 ; FAWC, 1992 ; voir annexe 6). Cette démarche est néanmoins lourde et longue à réaliser. En effet, dans le souci d'adopter une approche globale de la notion de bien-être, le protocole nécessite de réaliser de nombreuses mesures. De plus, un grand nombre d'entre elles suscitent de porter un jugement et tiennent donc de la subjectivité des évaluateurs. Il est donc difficile de garantir un résultat objectif par cette méthode (Veissier et al., 2010).

ii. Les indicateurs sanitaires

Les bilans et audits sanitaires réalisés en élevage par les vétérinaires, les conseillers, les technico-commerciaux ou les chargés d'études épidémiologiques sont des outils qui nous permettent de repérer quelques critères d'évaluations de l'état de santé du troupeau. Ainsi, sont couramment utilisés, les taux de mortalité (en particulier des veaux jusqu'à 15 jours), de morbidité, de réforme et de réussite à la première IA (Insémination Artificielle). Par ailleurs, les prévalences de certaines pathologies ou types de pathologies sont relevées (cf. annexe 7). La prévalence consiste à ramener le nombre de cas observés par rapport au nombre d'animaux à risque dans une période de temps donnée (souvent l'année). Ainsi, les infections intramammaires, l'infertilité (souvent appréciée par les échecs à l'insémination) et les boiteries sont les trois premiers critères d'évaluation (Kelton et al., 1998 ; Croisier M. et Y., 2011 ; Seegers et al., 2013 ; voir annexe 8).

Ces outils, établis en fermes conventionnelles, méritent d'être adaptés pour la Bio. En effet, une étude menée par Cabaret et Nicourt a montré que les pathologies les plus rencontrées en Bio étaient sensiblement différentes de celles rencontrées en conventionnel. Ainsi, les

*L'observation des animaux et la méthode Obsalim,
des indicateurs indirectes de l'équilibre sanitaire*

La méthode Obsalim (Giboudeau, 2014) propose une démarche de diagnostic alimentaire à l'échelle du troupeau utilisant 143 signes observables directement sur les animaux et ce qu'ils produisent (notamment bouses, lait et mucus). Cette méthode permet de détecter des déséquilibres alimentaires et donc de réajuster la ration et les pratiques en cause pour garantir la bonne santé du troupeau. Si l'attention est davantage portée sur l'alimentation que sur la santé, cette méthode holistique permet tout de même de diagnostiquer des pathologies digestives et métaboliques ainsi que de nombreux maux d'origine alimentaire (Giboudeau, 2007). Cette méthode, très appréciée de certains éleveurs biologiques, demeure néanmoins complexe et requiert un temps d'apprentissage et de pratique quotidienne conséquent (Bouy et Ruault, 2015).

éleveurs Bio rencontreraient moins de problèmes d'infertilité, mais davantage de problèmes de boiterie et de parasitisme alors que les affections de la mamelle sont sensiblement de même fréquence dans les deux types de production (voir annexe 9). Par ailleurs, les particularités du mode de production Bio et ses conceptions singulières nécessitent de définir d'autres approches et d'autres outils pour évaluer l'état sanitaire des troupeaux, d'autant plus que peu d'études se sont encore penché sur la question (Cabaret et Nicourt, 2009).

b. Les indicateurs indirects

i. Les indicateurs zootechniques

La thèse de Camara propose plusieurs indicateurs pour étudier l'équilibre sanitaire des troupeaux. Ils sont répartis selon 4 facteurs influençant l'équilibre : les conditions d'hygiène et agents pathogènes, les flux d'animaux, les efforts de production (la production laitière) et l'alimentation (voir figure en annexe 2). En plus de reprendre certains des indicateurs présentés ci-dessus (comme la mortalité, les mammites et les affections de l'appareil reproducteur), Camara utilise des indicateurs zootechniques, notamment de performance laitière, de démographie et de fécondité. Peuvent ainsi être utilisés comme indicateurs le rapport TB/TP (taux butyreux/ taux protéique), le rang moyen de lactation, la quantité de lait produite et la durée de la lactation, le nombre d'animaux, l'intervalle vêlage-vêlage (Camara, 2015), le CCS (Cabaret et Nicourt, 2009), la note d'état corporel (Veissier, 2007), etc.

ii. Les indicateurs économiques

Il est également possible d'estimer un certain statut sanitaire du troupeau à partir des dépenses engendrées par les traitements et les coûts impactés à la production, notamment dus à la baisse de la qualité et de la quantité de lait. Ainsi, les mammites, les troubles de la reproduction, les troubles métaboliques et digestifs, et les problèmes autour du vêlage sont les premiers postes de coûts sanitaires en élevage bovin lait, les troubles de la mamelle étant bien en tête (cf. annexe 10, Croisier M. et Y., 2011 ; n.d., 2005). De plus, les vaches engendrent plus de coûts sanitaires que les génisses et les veaux (Croisier M. et Y., 2011). Cependant, le rapprochement entre coût économique et statut sanitaire n'est pas si évident car il peut révéler davantage des pratiques de traitement et des réactions face à des signes cliniques qu'un réel état de santé. De plus, il est difficile d'estimer le coût impacté à la production par des pathologies dont les signes ne sont pas facilement observables (Fourichon, 2001).

D'autres types d'indicateurs peuvent aussi présenter un intérêt (voir encadré ci-contre).

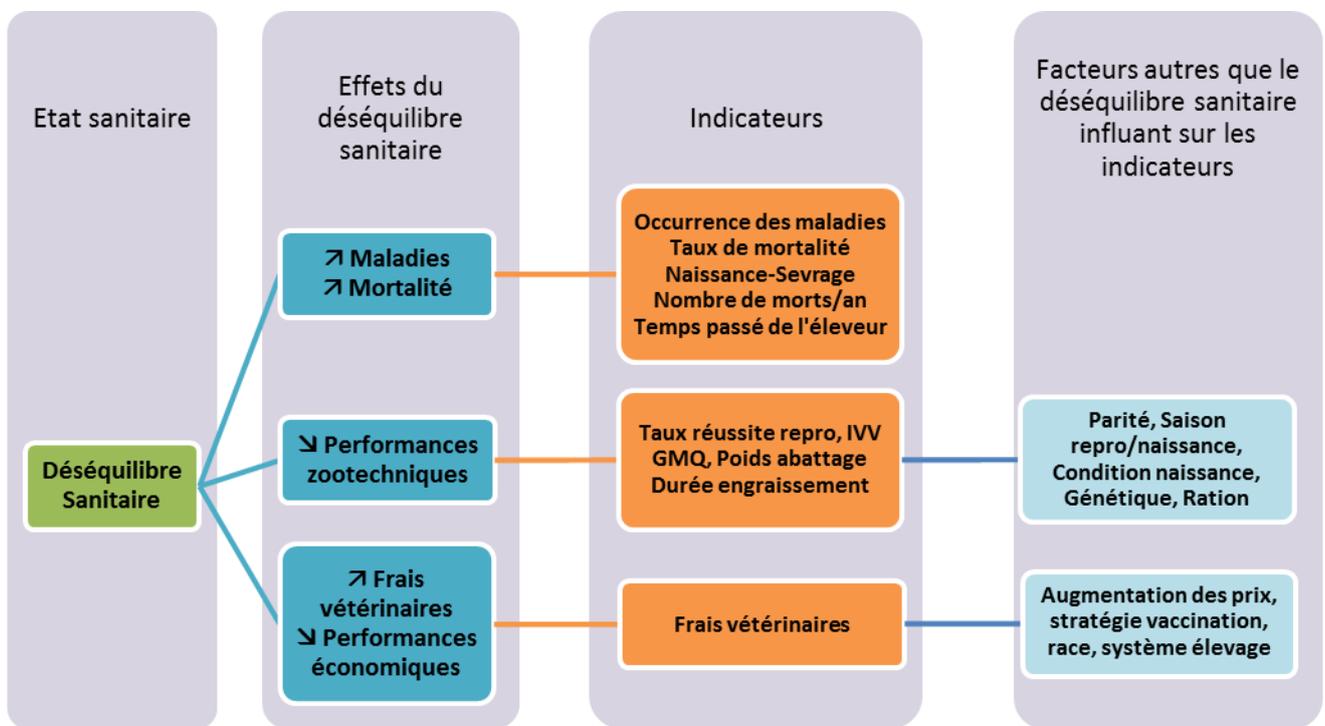


Figure 7: Schéma de synthèse sur la représentation du déséquilibre sanitaire, Demarthe, 2016

4. Synthèse générale et formulation de la problématique

L'équilibre sanitaire est une notion floue qui ne comporte pas encore de définition académique (Camara, 2015). Cependant, elle suscite l'intérêt d'éleveurs, de chercheurs et de la filière biologique car elle pourrait représenter un critère global de santé animale pertinent pour ce secteur (Experton, 2014, Döring, 2015). On pourra retenir que l'équilibre sanitaire est globalement appréhendé comme un état stable de la santé des troupeaux mais qui peut évoluer au cours du temps (Experton, 2014, Bareille & Hellec, 2014). En ce sens, il se rapproche de la notion de résilience, concept qui se focalise sur une dynamique de retour à l'état d'équilibre et sur une capacité de résistance aux perturbations de l'environnement propre à un système (Döring, 2015). L'équilibre sanitaire peut ainsi être défini comme un état global de bonne santé qui permet aux troupeaux de maintenir leur santé en faisant face aux changements et aux agressions de leur environnement. Cet équilibre est propre à chaque troupeau et dépend de plusieurs facteurs : une génétique adaptée au milieu, aux conditions d'élevage et à l'effort de production demandé, les aléas climatiques, la conjoncture économique et les pratiques d'élevage (Patout, 2014). Le déséquilibre consiste donc en une perte de santé due à des changements brutaux sur ces facteurs (Cabaret et Nicourt, 2011 ; Patout, 2014). Si la relation entre l'équilibre sanitaire et les traitements est abordée, notamment dans leur impact sur les défenses immunitaires du troupeau (Grosmond, 2016), nous ne pouvons établir que l'état d'équilibre d'un troupeau correspond à un niveau d'intrants médicamenteux faible. En effet, au sein des éleveurs Bio coexistent des conceptions et des pratiques différentes. Aussi, si certains visent à limiter le recours aux thérapeutiques en privilégiant les capacités de défense propres aux animaux, d'autres ont recours à beaucoup de traitements alternatifs (Nicourt et Cabaret, 2011). Nous n'avons pas pu valider le postulat, dans la définition commune au projet, selon lequel un troupeau en équilibre présente peu d'animaux malades. Cependant nos lectures permettent d'étayer l'idée selon laquelle ce concept permettrait de garantir un certain niveau de santé des troupeaux (Patout, 2014) et de renforcer la prévention des maladies par la détection précoce de signes avant-coureurs (Fric, s.d. ; Ducrot et al., A paraître).

Les développements mathématiques établis dans les domaines de l'écologie, à travers ses travaux sur la résilience et la dynamique des populations (Verhulst, 1837 ; Lotka, 1925), de l'épidémiologie (IDELE, 2011), des probabilités (Nelder et Wedderburn, 1972 ; McCullagh et Nelder, 1989 ; Agresti, 2002 ; Forbes et al., 2011) et des statistiques (Blokhuis et al., 2003 ; Killick et Haynes, 2016) nous seront utiles dans la conception d'une méthode de suivi et de caractérisation de l'équilibre sanitaire dans le temps. En effet, divers outils nous permettent de

Hypothèses sur la définition de l'équilibre

- H1 : L'équilibre sanitaire existe au sein d'un troupeau mais il n'est pas encore objectivé.
- H2 : L'équilibre sanitaire peut être défini comme un état de santé plus ou moins stable dans le temps, mais un état dynamique qui évolue.
- H3 : L'équilibre sanitaire est également défini par un niveau (plus ou moins important selon la proportion d'animaux présentant des troubles).
- H4 : L'équilibre sanitaire est propre à chaque élevage, il dépend des conceptions et des pratiques de l'éleveur, de la génétique du troupeau et des conditions d'élevage (environnement, climat et conjoncture économique).

Hypothèses sur la définition du déséquilibre

- H5 : Une perte d'équilibre au niveau du troupeau se traduit par l'apparition de cas pathologiques et/ou de troubles du comportement, de la reproduction, de la croissance ou bien de la production. Cette perte d'équilibre est appelée déséquilibre.

Hypothèses sur la méthode à adopter pour étudier l'équilibre sanitaire et le caractériser dans le temps

- H6 : L'équilibre sanitaire peut être considéré comme la synthèse d'événements sanitaires au sein d'un élevage. En ce sens, il peut être considéré comme une somme ou une fonction d'équilibres partiels d'indicateurs où chaque indicateur porte le même poids dans la synthèse globale. Dans un premier temps ces indicateurs sont supposés indépendants.

Hypothèses sur les indicateurs de l'équilibre sanitaire

- H7 : Deux types d'indicateurs permettent de mesurer l'équilibre sanitaire d'un troupeau : les indicateurs directs que sont le taux de mortalité et la prévalence de cas pathologiques, et les indicateurs indirects qui mesurent des performances zootechniques ou des comportements comme les GMQ, le poids et les NEC pour la croissance, et l'expression des chaleurs pour le comportement reproducteur.
- H8 : L'équilibre sanitaire peut être représenté dans le temps en fonction du nombre d'animaux à risque et du nombre d'occurrences d'une pathologie ou d'un trouble.
- H9 : La quantité d'intrants médicamenteux peut aussi donner une indication sur l'état d'équilibre sanitaire, cet état étant caractérisé par un niveau faible de ces intrants.

représenter une variable dans le temps et de détecter des moments de stagnation et des moments de rupture. De plus, nous avons repéré plusieurs variables, appelées indicateurs, susceptibles de représenter l'équilibre sanitaire des troupeaux bovins laitiers biologiques (voir figure 7). Certains sont des indicateurs directs, comme des indicateurs du bien-être (Veissier et al., 2007 ; Blokhuis et al., 2010) et la prévalence de pathologies majeures (Kelton et al., 1998 ; Croisier M. et Y., 2011 ; Seegers et al., 2013; Cabaret et Nicourt, 2009). D'autres sont des indicateurs indirects, comme des performances zootechniques (Camara, 2015 ; Cabaret et Nicourt, 2009), les coûts économiques dus au sanitaire (Croisier M. et Y., 2011) et des signes observables sur les animaux (Giboudeau, 2007). Si les indicateurs de bien-être et de la méthode Obsalim (Giboudeau, 2007) semblent difficiles à utiliser ici, certaines pathologies et indicateurs techniques pourraient constituer de bons indicateurs, comme les mammites, les boiteries, les troubles de la reproduction et les cellules. Par ailleurs, si on ne peut étudier l'équilibre de tout le troupeau, les vaches laitières semblent être les animaux les plus représentatifs de l'équilibre sanitaire d'un point de vue économique (Croisier M. et Y., 2011) et d'après les éleveurs (Cabaret et Nicourt, 2009).

L'équilibre sanitaire étant compris comme « un état global et dynamique de bonne santé qui permet aux troupeaux de maintenir leur niveau de santé en faisant face aux changements et aux agressions de leur environnement, plus ou moins stable dans le temps », et le déséquilibre sanitaire comme une perte de santé qui se traduit, à l'échelle du troupeau, par l'occurrence de troubles (tels que des pathologies, des problèmes de reproduction), il nous reste à déterminer si l'équilibre sanitaire d'un troupeau implique une faible proportion d'animaux malades et un niveau d'intrants médicamenteux bas. L'élaboration d'une méthode statistique de suivi et de caractérisation de l'équilibre sanitaire pourrait permettre de compléter, clarifier et objectiver cette définition. Cette étape est nécessaire et préliminaire pour surmonter les contradictions et les difficultés relevées dans les situations de conseil (Bouy et Ruault, 2015) et les différences de conception de la santé animale entre les divers acteurs de la production animale biologique (éleveurs, organismes techniques et chercheurs) (Bouy et Ruault, 2015 ; Cabaret et Nicourt, 2009). Aussi, d'après les outils méthodologiques et les indicateurs présentés ci-dessus, et d'après les bases de données disponibles sur certains sites expérimentaux, comment faire pour suivre et caractériser l'équilibre sanitaire d'un troupeau afin de s'accorder sur une nouvelle approche de la santé, plus proche des fondements de l'agriculture biologique? Nous illustrerons notre démarche avec l'exemple du troupeau de bovins laitiers de Mirecourt. Nos hypothèses sont présentées ci-contre et le schéma de la démarche se trouve en annexe 23.

Historique du domaine de Mirecourt

Le domaine de Mirecourt a été créé en 1947 par le Conseil Général des Vosges en reprenant trois fermes, ainsi qu'une partie des terres de l'hôpital militaire (aujourd'hui hôpital psychiatrique), pour en faire une ferme de démonstration. Le projet s'arrête en 1961 et le domaine est alors exploité par l'INRA à la demande du Conseil Général pour en faire une ferme expérimentale. Pendant trente ans, la ferme participe à des expérimentations sur l'alimentation des vaches laitières et l'optimisation de leur production. Puis, dans les années 1990 l'orientation de la ferme prend un autre cap, celui de la désintensification agricole. En même temps, ses travaux se diversifient en intégrant la qualité de l'eau dans ses questions de recherche. Ce n'est que dans les années 2000 que son projet actuel se précise. L'équipe ASTER décide alors de travailler sur la co-conception de systèmes agricoles autonomes. En 2004, l'exploitation de 240 ha et d'une centaine de vaches laitières se convertit à l'Agriculture Biologique, et produit officiellement sous le label AB à partir de septembre 2006 (suite à la conversion du troupeau, six mois, et des terres, deux ans). C'est en 2005 que débute une expérimentation système qui soutient le projet de recherche présenté ci-avant. Le troupeau est alors divisé en deux, un système herbager (SH) et un système de polyculture élevage (SPCE), tous les deux menés en Bio et avec le même objectif d'autonomie et de valorisation des ressources du milieu. En 2013 l'INRA rachète le domaine au Conseil Général et en est depuis le propriétaire.

IV. METHODOLOGIE

L'objectif de cette méthodologie est donc de représenter et de caractériser l'état d'équilibre sanitaire d'un troupeau sur une période de temps longue (plus de 10 ans). Eventuellement, elle pourra poser les bases d'un outil de détection précoce des pertes d'équilibre grâce à un modèle prédictif.

1. Matériel

Pour mettre au point cette méthodologie, nous avons travaillé sur un fichier Excel constitué à partir d'extractions de la base de données du site expérimental d'ASTER Mirecourt. Cette base de données (BDD) retrace 11 ans d'expérimentation entre 2005 et 2015.

a. Le domaine expérimental d'ASTER Mirecourt

Le domaine expérimental d'ASTER (AgroSystèmes Territoires Ressources) est situé à Mirecourt, dans la plaine des Vosges, et est rattaché au centre INRA de Nancy-Lorraine et au département SAD (Sciences pour l'Action et le Développement). L'objectif de cette installation expérimentale est de « faire au mieux avec les ressources du milieu ». Son projet de recherche se décline ainsi en 3 enjeux sociétaux, centrés autour des relations agricultures-territoires :

- le développement de systèmes agricoles autonomes, économes, fondés sur les ressources du milieu,
- la restauration et la préservation de la qualité de l'eau,
- le développement de la biomasse à vocation énergétique.

L'unité d'ASTER comprend aujourd'hui 18 chercheurs et ingénieurs, 14 techniciens expérimentateurs, 4 doctorants et 3 gestionnaires. Cette équipe pluridisciplinaire associe les sciences agronomiques aux sciences sociologiques et informatiques.

Dans le cadre de mon stage, j'ai seulement travaillé sur le système herbager d'ASTER car la base de données du système polyculture-élevage (cf. encadré ci-contre) n'était pas terminée.

b. Le jeu de données

Les données monitorées sur ASTER ont été enregistrées dans la base de données ALADIN, modèle de base de données de type Access créée par l'INRA. Pour le projet, un même masque de saisie Excel, défini et décidé de manière collégiale, a été demandé aux différents sites.

Description du système herbager

L'objectif d'autonomie et d'économie du système herbager (SH) passe par une valorisation maximale de l'herbe et une maximisation du pâturage. Le troupeau est constitué de 40 vaches laitières (VL) et de leur suite. Les veaux mâles sont vendus à deux semaines d'âge et toutes les femelles sont élevées. La sélection des génisses de renouvellement (taux de renouvellement de 30%) a lieu suite à la période de reproduction alors que les génisses vides sont réformées. Le premier vêlage a lieu autour de 35* mois (3 ans). Sur les 240 ha de l'exploitation, 78 ha sont destinés au SH et sont exclusivement menés en prairie permanente avec une productivité de 5,5 t de MS/ha/an. L'herbe est valorisée en ration sèche (foin et regain) à hauteur de 174 t de MS/an et le reste est pâturé pendant la période printemps-été-automne (en moyenne 246 jours de pâturage par an avec une mise à l'herbe autour du 26 mars). La production est assurée avec zéro concentré et zéro correcteur azoté. La seule complémentation apportée est une complémentation minérale à base de sel. Le troupeau est constitué à parité de vaches Holstein et de Montbéliardes, qui produisent respectivement 5478 L de lait/VL/an et 4911 L de lait/VL/an, pour un total de 190696 L de lait/an soit 2445 L/ha/an. La production laitière est callée sur la pousse de l'herbe afin d'optimiser la production du système et donc les vêlages sont groupés sur trois mois à la sortie d'hiver/début du printemps (de janvier à avril). Cette période de vêlage a d'ailleurs été réajustée au cours de l'expérimentation pour plusieurs raisons (de 2005 à 2006 les vêlages étaient étalés de février à mai). Tout d'abord cette stratégie permet d'écarter le pic de lactation en démarrant la lactation au foin. Et ensuite, elle permet de limiter la perte d'état en gérant mieux la pousse de l'herbe et la gestion du pâturage. Cependant, le groupement des vêlages n'est pas très strict et ASTER peut ainsi pratiquer jusqu'à 5 voire 6 IA (Insémination Artificielle) sur une même vache pour une campagne, avec une saison de reproduction débutant en avril. Parfois, il arrive que les vaches soient mises en lactation prolongée (durée de 2 ans), faute de réussite à la reproduction, si le système est limité en termes d'effectif. Jusqu'en 2014 le domaine était doté de taureaux pour le rattrapage des inséminations. Ainsi, toutes les génisses qui avaient été diagnostiquées vides, étaient mises au taureau à partir du 2^{ème} cycle de reproduction (il fallait que toutes les génisses aient été inséminées au moins une fois). Exceptionnellement, certaines vaches qui n'avaient pas pris à la 4^{ème} IA pouvaient être passées sous le taureau en monte contrôlée. L'exploitation dégage ainsi un produit brut de 126700€/an pour des charges opérationnelles de 13937€ (rapport de 11%).

* Toutes les données chiffrées sont calculées sur la moyenne des années 2005-2013

Par la suite, lorsque je référerai à la base de données (BDD) de Mirecourt, il s'agira bien du fichier Excel dans lequel ils ont stocké les données nécessaires à notre analyse, et qui ont été préalablement extraites de leur base de données ALADIN.

La BDD représente 11 ans de données collectées de 2005 à 2015. Composée de 16 feuilles Excel (plus une de description générale et une de légende), elle regroupe des données sur les mouvements et la filiation des animaux (dates de naissance, d'arrivée sur et de sortie de l'exploitation, race, sexe, identification de la mère et du père, etc.), sur la composition des lots, sur la reproduction (date de mise à la reproduction, dates d'IA, date de mise-bas, etc.), sur la mise à l'herbe et l'entrée en bâtiment des animaux, sur la production laitière (quantité, qualité, par animal et pour le lait de tank) et les mesures faites sur les animaux (poids, NEC), sur l'alimentation (composition des rations : nature et quantités) et sur la santé des animaux (mesures préventives, observations de troubles et de pathologies, et traitements curatifs).

Le plus souvent, les données d'ALADIN sont issues des notes manuscrites des techniciens, renseignées dans des agendas, et ont été saisies informatiquement au fur et à mesure par les techniciens d'expérimentation. Les données de pesées sont acquises via un boîtier électronique relié aux bascules par les techniciens animaliers. Elles sont ensuite transférées à la base de données, après avoir été contrôlées, par les techniciens d'expérimentation. Les données de production laitière sont également enregistrées automatiquement puis transférées par le biais de fichiers informatiques. La composition du lait est analysée une fois par semaine par l'équipe ASTER sur deux traites consécutives à partir du 6^{ème} jour de lactation jusqu'au tarissement. Les quantités de fourrage offertes sont pesées et relevées tous les jours à chaque distribution et les refus une fois par semaine. Ces données sont également enregistrées par les techniciens d'expérimentation. Toutes ces informations et la BDD sont mobilisées et vérifiées continuellement par plusieurs agents de l'unité et une personne en particulier est responsable des données numérisées.

2. Méthode

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de méthode pour caractériser l'équilibre sanitaire au sein d'un troupeau, au cours du temps. Aussi, ce stage m'a demandé de participer activement au développement méthodologique nécessaire à la réalisation de ma mission.

a. Principe et objectifs de la méthode

Pour répondre à notre problématique et à nos hypothèses, nous avons décidé de représenter

Comparaison de deux évolutions possibles de l'équilibre sanitaire au sein d'un élevage
 Vers un progrès ou une dégradation du niveau de santé du troupeau
 Modèle conceptuel ou « formalisme biologique » de notre approche

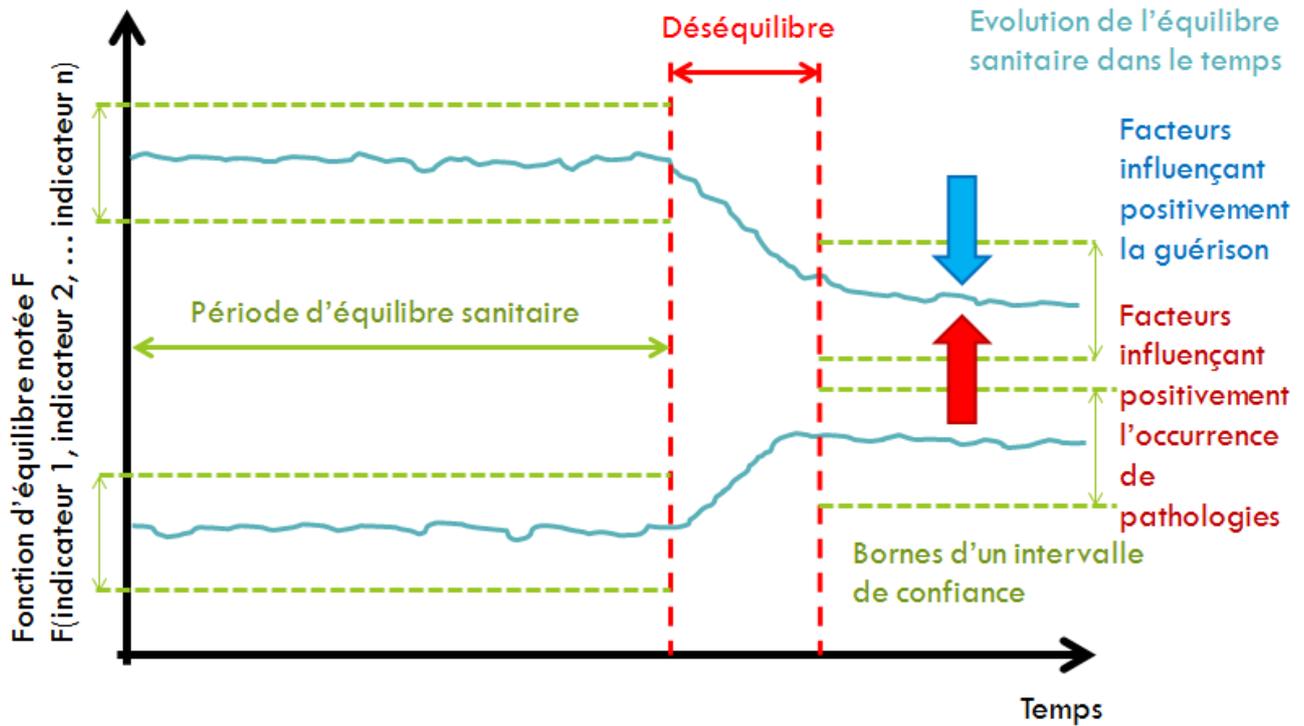


Figure 8: Représentation conceptuelle de l'équilibre sanitaire d'un troupeau sur laquelle est basée notre méthodologie – ne pouvant aller plus loin dans le développement, la fonction d'équilibre n'a pas encore été déterminée. Pour le moment l'équilibre sanitaire est considéré comme la résultante d'une somme d'équilibres partiels sur les indicateurs qui le déterminent.

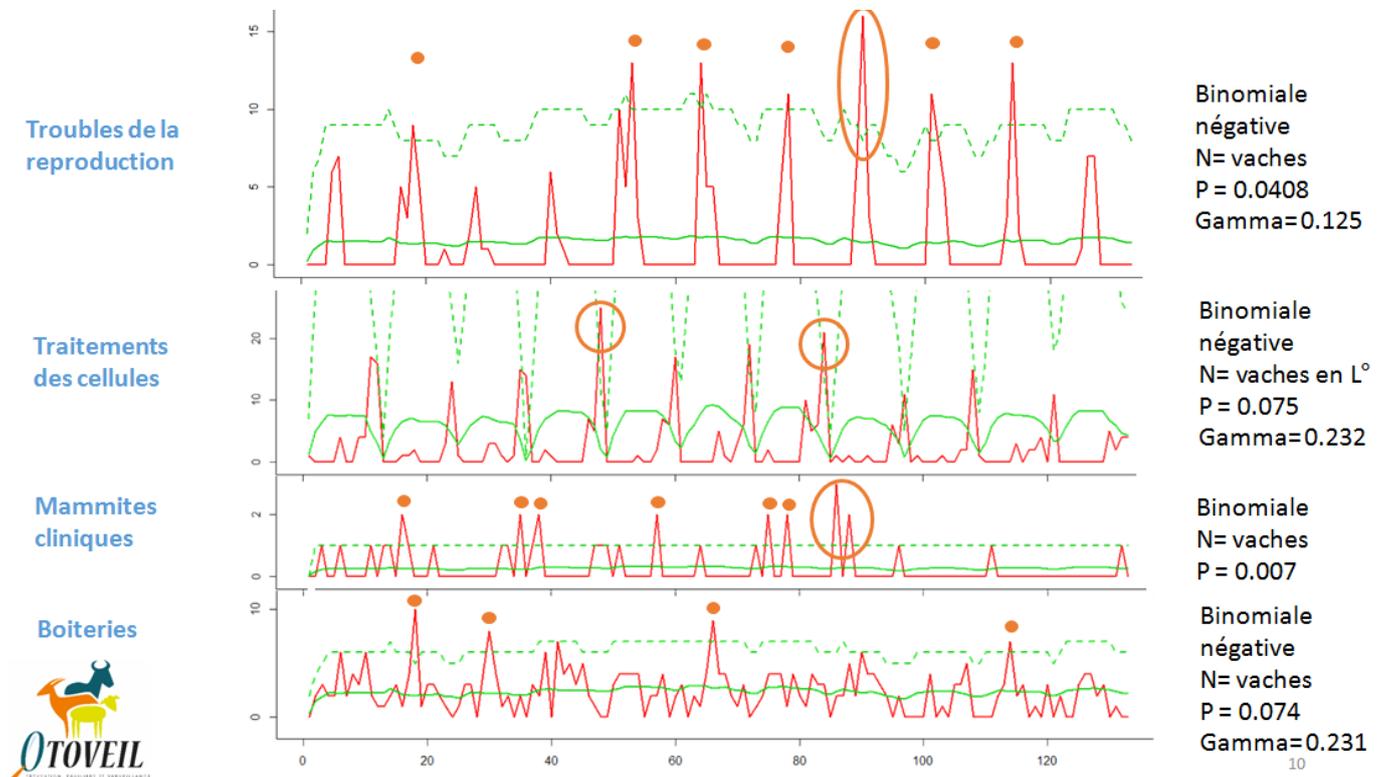


Figure 9: Exemple de représentation sous forme de tableau de bord que l'on peut obtenir à l'issue de notre méthode – représentation simultanée dans le temps d'une sélection d'indicateurs de l'équilibre sanitaire des vaches laitières du SH de Mirecourt – extrait d'une de mes présentations faites dans le cadre d'OTOVEIL

● ○ Mois identifiés comme co-occurrence de signaux du déséquilibre sur plusieurs indicateurs

l'équilibre sanitaire comme la somme d'équilibres partiels d'indicateurs directs et indirects. Ces indicateurs sont supposés indépendants. Il s'agit donc de sélectionner les indicateurs de l'équilibre sanitaire qui caractérisent le mieux le troupeau SH de Mirecourt, puis de les traiter individuellement. Le traitement statistique aura pour but de représenter les variations de chaque indicateur dans le temps et de détecter des périodes stables et des périodes de déséquilibre, sur toute la durée de la période d'étude. Enfin, il s'agira de synthétiser ces informations sous la forme d'un tableau de bord (voir figures ci-contre).

b. Les étapes de la méthode

i. Etape 1 : La sélection des indicateurs

La première étape consiste à sélectionner des indicateurs de l'équilibre sanitaire à la fois spécifiques du troupeau étudié, chers à l'éleveur, et cohérents par rapport au type de système d'élevage et à la filière concernés. Cette étape requiert une phase préliminaire de recherche bibliographique sur les principales pathologies d'élevage en système bovin laitier biologique et sur les indicateurs techniques révélateur du bien-être animal et de l'état de santé du troupeau (cf. partie III). Puis il s'agit de réaliser quelques statistiques descriptives sur le jeu de données, en particulier sur la mortalité des veaux, sur les réformes et le renouvellement, sur la reproduction et sur les pathologies rencontrées pendant les 11 ans d'étude. On sélectionnera ainsi les pathologies qui présentent le plus de cas sur l'ensemble de la période d'étude. Des regroupements de plusieurs pathologies pourront être faits (par famille et population à risque) afin d'avoir un nombre suffisant de cas pour l'étude statistique (voir annexe 14). Il faut également préciser que nous avons sélectionné des indicateurs spécifiques des catégories d'animaux majoritairement présentes dans le troupeau (veaux, génisses, vaches). Cette étape est réalisée à l'aide des logiciels R et Excel.

ii. Etape 2 : La construction des vecteurs

« population à risque » et « occurrences »

Une fois que les indicateurs ont été sélectionnés, il s'agit de déterminer les effectifs de la population à risque et des cas d'occurrence au cours du temps (par jours, du 1^{er} janvier 2005 au 31 décembre 2015). En effet, dans une approche épidémiologique on parle préférentiellement de prévalence en rapportant les occurrences, ou les cas, à une taille de population à risque. L'originalité de notre approche est de travailler à l'échelle d'un seul élevage et d'analyser la dynamique d'indicateurs sanitaires au cours du temps sur une période

Tableau 2: Représentation des vecteurs N et Y

1 ^{er} j	2 ^{ème} j	...	...			...	n-1 ^{ième} j	4016 ^{ième} j
N ₁	N ₂	N _i	...			...	N _{j-1}	N ₄₀₁₆

1 ^{er} j	2 ^{ème} j	...	...			...	n-1 ^{ième} j	4016 ^{ième} j
Y ₁	Y ₂	Y _i	...			...	Y _{j-1}	Y ₄₀₁₆

Tableau 4: Processus d'incrémentement du vecteur N

1 ^{er} j	2 ^{ème} j	3 ^{ème} j	...	...	124 ^{ème} j	...	n-1 ^{ième} j	n ^{ième} j
N ₁	N ₂ + 1	N ₃ + 1	N _i + 1	N _i + 1	N ₁₂₄	...	N _{j-1}	N _j

Individu x : individu à risque pendant 123 jours
 Entrée dans la population à risque le 2^{ème} jour – Sortie de la période à risque au 124^{ème} jour

Tableau 3: Processus de construction des vecteurs N et Y par incrémentation et décrémentation

1 ^{er} j	2 ^{ème} j	3 ^{ème} j	4 ^{ème} j	5 ^{ème} j	6 ^{ème} j	...	...	n ^{ième} j
Y ₁	Y ₂ + 1	Y ₃	Y ₄ + 1	Y ₅	Y ₆	...	...	Y _j

Un cas pathologique
 Début du cas : 2^{ème} jour
 Fin du cas : 6^{ème} jour

Un cas deuxième pathologique
 Début du cas : 4^{ème} jour
 Fin du cas : 6^{ème} jour

1 ^{er} j	2 ^{ème} j	3 ^{ème} j	4 ^{ème} j	5 ^{ème} j	6 ^{ème} j	...	...	n ^{ième} j
N ₁	N ₂	N ₃ - 1	N ₄ - 1	N ₅ - 2	N ₆ - 2	...	...	N _j

de 11 ans. Nous avons en plus la chance de disposer de données datées au jour près et donc de pouvoir étudier rétrospectivement la dynamique de nos indicateurs au jour le jour. Sur R, je travaille avec des vecteurs. Je constitue ainsi un vecteur N_i « population à risque » et un vecteur Y_i « occurrences de la pathologie » (ou « occurrence d'un trouble » si je travaille sur un indicateur technique) en fonction du temps (donné en jours i allant de 1 à j). Quand je travaille sur un indicateur, mes deux vecteurs (N_i et Y_i) sont de même longueur et cette longueur est égale au nombre de jours compris dans ma période d'étude (4016 jours entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2015). Les données comprises dans les vecteurs représentent alors un nombre d'animaux à risque dans le cas de N_i et un nombre de nouveaux animaux atteints (ou un nombre de nouveaux cas) pour Y_i , en fonction du temps (tableau 2).

Pour construire le vecteur Y_i , j'incrémente de 1 le premier jour d'apparition du cas pathologique (tableau 3). Le vecteur Y_i compte donc les nouveaux cas et non pas le nombre d'animaux malades par jour. Pour construire le vecteur N_i , je recherche les dates d'entrée et de sortie dans la période à risque de chaque animal présent dans la BDD. Et pour chaque jour où l'animal est considéré à risque, j'incrémente de 1 le vecteur N_i (tableau 4). Puis, il me faut décrémenter de N_i la durée de traitement de chaque cas détecté dans Y_i , sauf le premier jour où l'animal est détecté comme malade (tableau 3). En effet, on considère que l'animal est malade pendant toute la durée du traitement. Or, à partir du moment où un animal contracte une pathologie, il ne peut pas retomber malade pour cette même affection. On doit alors retirer l'animal malade de N_i car il n'est plus à risque pour cette pathologie.

J'ai rédigé un script dans un fichier bloc note pour programmer sur R le calcul des différentes populations à risque par indicateur. J'ai donc un script pour chaque N_i différent (voir exemple annexe 15). J'ai également rédigé un script par indicateur traité avec N_i et Y_i dans le pas de temps choisi (voir exemple annexe 16). De plus, j'ai recherché les populations et les périodes à risque de toutes les pathologies rencontrées dans la BDD de Mirecourt (voir annexe 21).

iii. Etape 3 : La détermination du pas de temps

Afin de faciliter l'interprétation et améliorer la lecture de la représentation graphique, nous allons travailler à une échelle de temps plus élevée que celle du jour. Ce pas de temps doit être cohérent par rapport à la pathologie étudiée. Par exemple, pour les problèmes locomoteurs, on peut prendre comme pas de temps le mois afin de voir s'il y a un mois où il y a davantage de problèmes que d'autres. Par contre, pour étudier la fièvre vitulaire ou les rétentions placentaires, il n'est pas nécessaire d'aller en-deçà de l'année car les vêlages sont groupés.

Par ailleurs, le choix du pas de temps doit tenir compte d'un compromis entre le nombre de cas par intervalle de temps, et le nombre d'unités de temps constituant la période d'étude fixée. Ces deux nombres doivent être suffisamment grands pour pouvoir étudier la dynamique de l'équilibre sanitaire. Pour changer d'échelle de temps, nous avons deux solutions. La première est d'utiliser une fonction d'agrégation qui fait une moyenne des données contenues dans le vecteur sur la durée du pas de temps choisi. Cette méthode a été utilisée pour un pas de temps de 30 jours. Par contre, cette fonction d'agrégation ne peut être utilisée dans le cas où la variation de N au sein du pas de temps est trop grande. Dans ce cas, il s'agira donc de compter les animaux présents dans un intervalle de temps. On incrémentera de 1 l'intervalle de temps donné à partir du moment où l'animal y a passé au moins un jour. Ce programme pourrait être affiné en incrémentant N_i au prorata du temps passé dans chaque intervalle de temps. Pour pratiquement tous mes indicateurs j'ai choisi un pas de temps de 30 j. C'est sur ce modèle que je décrirai la suite de la méthodologie.

iv. Etape 4 : La détermination du modèle statistique

Pour déterminer des moments d'équilibre et de déséquilibre au cours du temps, il faut pouvoir détecter des périodes de stabilité et des points de rupture de cette stabilité. Cela revient à étudier la variation de Y_i en fonction de N_i et à repérer les moments où cette variation est comprise dans un certain intervalle (équilibre) et quand elle en sort (déséquilibre). Or, nous disposons de séries de données chronologiques, et les variables étudiées ici correspondent à des comptages (elles ne sont donc pas gaussiennes). Les analyses de variance ne sont donc pas adaptées. De plus, les occurrences de pathologies ne sont pas des phénomènes linéaires. Nous avons choisi de nous placer dans un cadre GLM (cf. partie III). Dans ce cadre théorique, nous avons choisi de tester trois lois de probabilité, les plus communément utilisées en épidémiologie, la loi binomiale, la loi de Poisson et la loi binomiale négative (cf. partie III). L'approximation des phénomènes observés par une loi nous permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'un cas pathologique, son espérance et sa variance par pas de temps, et ainsi de modéliser les phénomènes étudiés. On s'intéresse à ces trois lois car elles intègrent trois relations différentes entre la variance et l'espérance (voir annexe 5). On s'assure ainsi de pouvoir ajuster les données observées au meilleur modèle empirique, qui va permettre de prédire des intervalles de confiance adéquats.

Avant de déterminer quel modèle choisir (B, P ou BN) il faudra au préalable s'assurer que pour tout i , $N(i) > 0$. Le cas échéant, il faudra retirer les mois où la population à risque est nulle, ce qui diminuera la taille des vecteurs $N(i)$ et $Y(i)$.

Encadré 17: Précisions sur la signification des hypothèses initiales

Précisions sur la signification des hypothèses initiales

Les hypothèses d'indépendance, de normalité et d'homoscédasticité des résidus ne sont valides que si le processus observé correspond à un équilibre sur toute la période. L'existence de périodes de déséquilibre va faire que ces hypothèses ne sont pas réalisées soit sur l'espérance, soit sur la variance, soit les deux en même temps. On ne s'intéresse donc pas trop à la validation de ces hypothèses à partir de notre modèle empirique. En fait c'est l'éventuelle présence de périodes de déséquilibre qui est le sujet d'intérêt, et si les hypothèses sur les résidus sont réalisées, cela veut simplement dire que le processus est tout compte fait en équilibre sur toute la période d'étude.

Pour déterminer le modèle empirique le plus approprié, j'utilise deux critères : le rapport déviance résiduelle (dR) sur nombre de degrés de liberté (ddl) et le Critère d'Information d'Akaike (AIC), le premier étant prioritaire sur le deuxième.

- **Le rapport dR/ddl** : représente l'ajustement des valeurs théoriques (calculées à partir de l'estimation des paramètres du modèle) aux valeurs observées. Il doit être le plus proche possible de 1 (avec $ddl = x-1$, x le nombre d'observations). En effet, la déviance désigne une variation de la log-vraisemblance (une valeur logarithmique de la vraisemblance), d'où *déviance résiduelle* = $-2\log(\text{vraisemblance})$ (D. Chessel & J. Thioulouse, 2015).

L'estimation par le maximum de vraisemblance est une méthode statistique qui permet d'obtenir de bonnes propriétés des estimateurs (absence de biais et bonne précision). C'est la plus fiable dans le cadre des GLM. Elle est utilisée pour inférer les paramètres d'une distribution de probabilité d'un échantillon donné (Ruch, 2013). Elle a été développée en 1922 par le statisticien Ronald Aylmer Fisher (1890-1962).

- **L'AIC** : est un critère de parcimonie. Il représente un compromis entre un petit nombre de paramètres estimés pour un meilleur ajustement possible des données théoriques aux données observées. Il pénalise ainsi la vraisemblance du modèle en tenant compte du nombre de paramètres du modèle. On recherche une valeur d'AIC la plus petite possible. En effet, plus petit est l'AIC, meilleur est le compromis.

Pour chaque modèle (B, P, BN), on extrait donc les valeurs de ces deux critères pour les comparer et choisir le modèle adéquat. Cependant, le modèle ne peut être accepté qu'après validation des hypothèses initiales :

- Indépendance des données (vérifiée à l'aide d'un test d'autocorrélation de Box-Pierce)
- Normalité des résidus (vérifiée par un test de Komlogorov)
- Homoscédasticité (il n'existe pas de test qui permet d'obtenir un résultat direct à cette hypothèse, cependant, à partir de la représentation graphique des résidus et des connaissances biologiques des indicateurs étudiés, on validera systématiquement cette hypothèse)

On peut s'acquitter de l'hypothèse de normalité des résidus car elle n'est pas obligatoire dans le cadre de certains GLM. En effet, les trois lois de distribution testées sont robustes à cette hypothèse (voir précisions dans l'encadré ci-contre).

Programmation sur R des modèles

- **La loi binomiale (B)**

Définition du modèle: $BModel = glm(matY \sim 1, family = binomial)$

Espérance de Y $vypredict : vypredict = proba * vN$

Intervalle de confiance $vypredictSup : vypredictSup = qbinom(0.95, size = vN, prob = proba)$

- **La loi de Poisson (P)**

Définition du modèle: $PModel = glm(vY \sim 1 + offset(log(vN)), family = poisson)$

Espérance de Y $vypredict : vypredict = proba * vN$

Intervalle de confiance $vypredictSup : vypredictSup = qpois(0.95, lambda = vN * proba)$

- **La loi binomiale négative (BN)**

Définition du modèle: $BNModel = glm.nb(vY \sim 1 + offset(log(vN)))$

Espérance de Y $vypredict : vypredict = proba * vN$

Intervalle de confiance $vypredictSup : vypredictSup = qnbinom(0.95, size = gamma, mu = vN * proba)$

Où $proba$ = la probabilité p d'occurrence calculée à partir du modèle donné,

Où vN = la taille de la population à risque pour $N(i) > 0$ pour tout i ,

Où $gamma$ = le paramètre de sur-dispersion.

v. Etape 5 : Le calcul des paramètres du modèle

Une fois que la loi a été déterminée, il suffit de programmer le modèle dans R à l'aide de la fonction `glm()` et d'en afficher le résumé. On récupère ainsi les paramètres du modèle, calculés automatiquement par la méthode du maximum de vraisemblance (cf. encadré 18). Le modèle prend en entrée les vecteurs N et Y (avec N positif pour tout i). Dans le cas d'un modèle binomial cela est fait par le biais d'une matrice à deux colonnes qui comprend Y et $N - Y$. Dans le cas des deux autres modèles, le N est entré en offset par le biais d'une fonction logarithmique. Cette étape nous permet donc de calculer et de représenter l'espérance de Y , notée $(E(Y))$ et l'intervalle de confiance IC (voir annexe 17).

vi. Etape 6 : Représentation et détermination des périodes d'équilibre/de déséquilibre

Le calcul d'un intervalle de confiance à 95% unilatéral supérieur et la représentation graphique des modèles nous permettent d'identifier *a posteriori* les périodes d'équilibre et de déséquilibre. En effet, on considérera les moments où Y_i est supérieur à l'intervalle de confiance comme des signaux d'une potentielle rupture d'équilibre. Une période d'équilibre est identifiée comme une période où Y varie sous la borne supérieure de l'IC. Ainsi, par construction, 5% des données doivent se retrouver automatiquement en dehors de l'IC (voir annexe 18). Seul un IC unilatéral supérieur nous intéresse car on suppose qu'un déséquilibre se caractérise par une proportion d'animaux malades **supérieure** à celle attendue, ou à la moyenne des proportions observées sur la durée de l'étude (donnée par l'espérance de Y).

c. Interprétation

Cette méthode nous permet donc de déterminer une espérance et une probabilité d'occurrence d'un indicateur sur une période d'étude, à partir de la variation de taille de la population à risque et du nombre d'occurrences observées pendant l'étude. L'espérance d'un indicateur correspond au nombre de nouveaux animaux malades, ou « cas » que l'on peut s'attendre à observer par unité de temps. Cette espérance peut ainsi être interprétée comme un équilibre de l'indicateur étudié. Cet équilibre dépend de la taille de la population à risque et du nombre d'occurrences observées. Dans cette démarche, on suppose que la probabilité ne varie pas au cours du temps et donc que les facteurs d'exposition, les facteurs environnementaux et les pratiques d'élevage non plus. Pour vérifier cette hypothèse, il est possible de tester un facteur « temps » (présentant autant de modalités que d'unités de temps dans la période d'étude) afin de repérer des périodes où la probabilité d'occurrence varie.

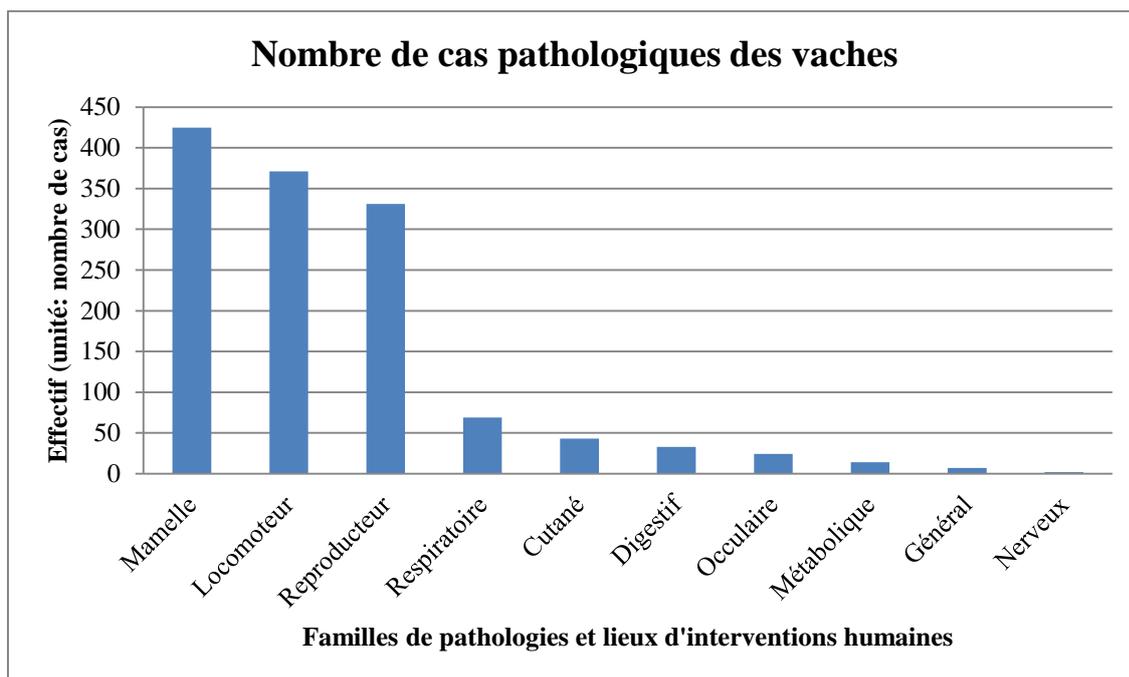


Figure 10: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les vaches du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Répartition des causes de réformes qui ont eu lieu entre 2005 et 2015

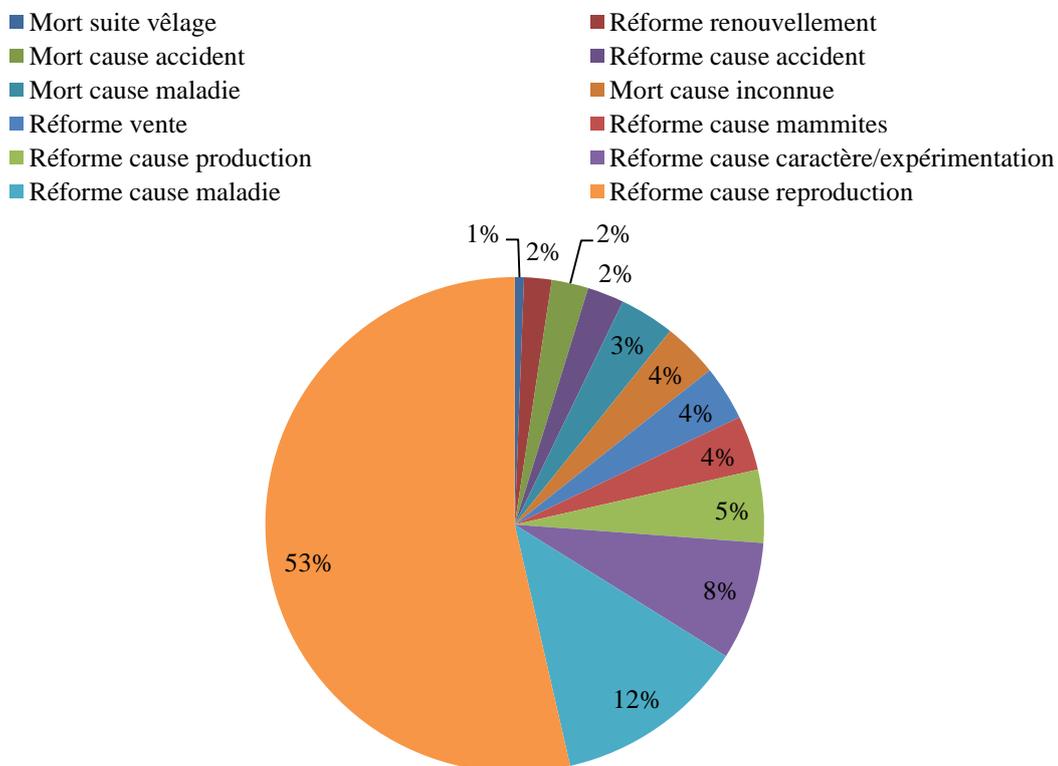


Figure 11: Répartition globale des causes de réforme (sens de lecture de la légende: de gauche à droite)

V. RESULTATS

Le but de cette étude est de répondre à la question de recherche suivante: comment objectiver la notion d'équilibre sanitaire et comment représenter et caractériser les variations de cet état ? Dans la partie précédente, je vous ai présenté la méthode que nous avons développée afin d'objectiver l'équilibre sanitaire d'un troupeau. Dans la partie suivante, je vous présente les résultats de cette méthode appliquée au SH de Mirecourt.

J'ai segmenté mon analyse en trois parties. J'ai ainsi divisé le troupeau en trois sous-populations : les vaches (définies comme des bovins femelles adultes entre le premier vêlage et la réforme), les génisses (définies comme des jeunes bovins femelles entre le sevrage et la première mise-bas) et les veaux (des jeunes bovins mâles ou femelles entre la naissance et le sevrage). Chaque partie a ainsi pour objectif d'étudier l'équilibre sanitaire d'une sous-population à travers une sélection d'indicateurs judicieusement choisis. Dans chaque sous-partie je m'attacherai donc à présenter les indicateurs retenus pour l'analyse, à expliquer leur modélisation, et à identifier les moments d'équilibre et de déséquilibre. Je formulerai également quelques hypothèses pour tenter d'expliquer l'évolution des états sanitaires des différentes sous-populations et j'essaierai, dans la mesure du possible, d'apporter un regard critique sur les indicateurs retenus. Seuls les résultats obtenus sur les vaches sont développés ici, ceux obtenus pour les deux autres sous-populations sont présents en annexes 19 et 20.

1. L'équilibre sanitaire des vaches

a. La sélection des indicateurs

Pour étudier l'équilibre sanitaire des vaches du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015, j'ai retenu 7 indicateurs. J'ai ainsi analysé les différentes causes de réforme et 3 types de troubles de la vache laitière, ressortis majoritaires (voir figures ci-contre et annexe 14) : les troubles de la mamelle – avec pour indicateurs les occurrences de mammites cliniques et subcliniques nommés respectivement « mammites » et « cellules » – les troubles de l'appareil locomoteur – avec pour indicateur les occurrences de problèmes locomoteurs (tout types de boiteries) nommé « locomoteur » – et des troubles de l'appareil reproducteur – avec pour indicateurs les occurrences de traitements des chaleurs non exprimées, dit « chaleurs », les occurrences d'affections de l'appareil reproducteur (autres que l'absence de manifestation de signes de chaleurs) dit « reproducteur », et les occurrences d'échec à la reproduction (c'est-à-dire les vaches qui ont été mises à la reproduction mais qui n'ont pas vêlé) dit « échec repro ».

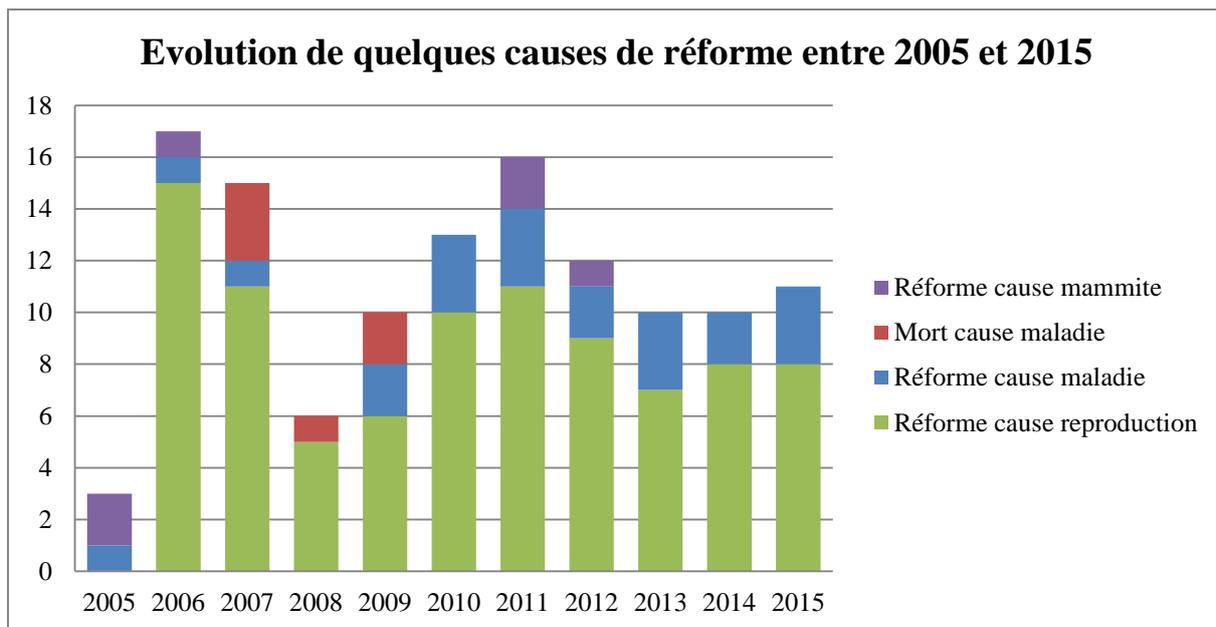


Figure 12: Evolution de quelques causes de réforme entre 2005 et 2015

Tableau 5: Evolution du taux de réforme entre 2005 et 2015 pour une référence de 40 vaches laitières

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
10,0%	47,5%	40,0%	32,5%	37,5%	40,0%	62,5%	55,0%	30,0%	30,0%	35,0%

Mis à part les causes de réformes, tous ces indicateurs ont été analysés selon la méthode que nous avons développée. Tous les indicateurs ont été étudiés sur un pas de temps de 30 jours, sauf les échecs à la reproduction qui eux ont été étudiés sur un pas de temps annuel.

b. Les causes de réforme des vaches laitières

Les principales causes de réforme entre 2005 et 2015 sont la reproduction, responsable de plus d'une réforme sur deux, puis les pathologies qui causent un peu moins d'une réforme sur dix (voir figure ci-contre). Les réformes pour cause de mammites, marginales, ont été très ponctuelles. Le nombre de réforme pour cause de maladie a sensiblement augmenté sur la durée de l'étude, mais elle est relativement stable d'une année à l'autre sur la deuxième moitié de l'étude (2 à 3 réformes par an entre 2009 et 2015 contre 0 à 1 entre 2005 et 2008). On peut également observer quelques pertes d'animaux entre 2007 et 2009 dues à des maladies. Les réformes pour cause de troubles de reproduction ont été plus importantes en 2006, 2007 et 2011.

Si l'exploitation a tenté de maintenir un taux de réforme de 30% on y dénote une certaine irrégularité et des taux assez élevés, notamment en 2006, 2011 et 2012 (cf. tableau ci-contre). Le taux de réforme anormalement faible de 2005 s'explique par un manque de données alors que celui de 2008 s'explique majoritairement par la mauvaise maîtrise de la reproduction en 2006 (moins de 50% de taux de réussite à la mise à la reproduction). En effet, de nombreux animaux ont été réformés en 2006 et 2007 suite à cet épisode et les marges de manœuvre pour la réforme et le renouvellement étaient donc fortement diminuées en 2008. Cette souplesse au niveau des taux de réforme est toutefois rendue possible par une pratique d'élevage : le fait d'élever tous les veaux femelles et de sélectionner les génisses de renouvellement seulement à l'issue de la période de reproduction.

Bien que le taux de réforme soit à relativiser au regard des marges de manœuvres de l'exploitation et du type de réformes (subies ou choisies), on peut émettre l'hypothèse que les années 2006, 2010, 2011 et 2012 ont été particulièrement défavorables et qu'elles peuvent peut-être constituer des périodes de déséquilibre sanitaire.

c. Le choix des modèles statistiques

Les résultats de la détermination du modèle statistique pour chaque pathologie sont résumés dans le tableau ci-après. J'y ai présenté la valeur des paramètres et des critères de détermination qui m'ont permis de choisir le meilleur modèle.

Tableau 6: Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des vaches

Indicateur	Modèle	Déviante résiduelle (DR)	Degrés de liberté (DDL)	Rapport DR/DDL	AIC	P	γ	Nombre de signaux	"p-value" du modèle retenu
Mammites	BN	84,72	132	0,64	179	0,007	0,730	3	2%
Cellules	BN + AR	111,88	132	0,85	503	0,090	0,503	12	9%
Locomoteur	BN	159,03	132	1,20	529	0,062	2,662	5	4%
Chaleurs	BN	67,30	77	0,87	280	0,075	0,443	3	4%
Reproducteur	BN	87,67	121	0,72	283	0,024	0,323	3	2%
Echecs Repro	B	12,40	9	1,38	57	0,315		1	10%

La plupart du temps j'ai ainsi retenu une loi binomiale négative pour paramétrer les modèles. Globalement, les résultats des modèles sont assez satisfaisants avec des dR/ddl compris entre 0,50 et 1,50. Dans certains cas, on observe des données réelles sur-dispersées par rapport aux données simulées (quand $dR/ddl > 1$), c'est le cas de « locomoteur » et « échec repro », dans d'autres, on observe une légère sous-dispersion ($dR/ddl < 1$) (cf. partie Matériel et Méthode).

Dans un cas, pour la modélisation des occurrences de mammites subcliniques (« cellules »), j'ai dû introduire un terme autorégressif dans le modèle car l'hypothèse d'indépendance des résidus n'était pas vérifiée. Cela a pu être programmé grâce au package R et à la fonction `glarma()` (terme autorégressif `PhiLags` à préciser par le rang concerné par l'autocorrélation). Par ailleurs, les hypothèses initiales ont toujours été vérifiées et validées quand cela était nécessaire (voir partie Matériel et Méthode).

On notera que dans deux modèles (« cellules » et « échec repro »), plus de 5% des données se retrouvent en dehors de l'intervalle de confiance. Or, ayant sélectionné un intervalle de confiance à 95%, on ne devrait pas retrouver plus de 5% des données en dehors de cet IC. On en conclut que ces deux modèles, bien qu'étant le meilleur compromis retenu, ne s'ajustent pas de manière optimale aux données observées (voir tableau ci-contre).

d. La détection des signes de déséquilibre

Le tableau suivant (n°7) permet de lire les mois et les années où j'ai pu détecter, grâce aux modèles, des signaux du déséquilibre, c'est-à-dire des mois où le nombre de cas observés dépassaient le nombre de cas attendus, au-delà de l'intervalle de confiance à 95%. En annexe 18, vous retrouverez un exemple de sorties graphiques que j'ai obtenues et qui permettent de lire graphiquement les résultats présentés ci-après.

Hormis l'indicateur « mammites », tous les indicateurs présentent un effet saisonnier. La stratégie de Mirecourt étant de produire du lait de la fin de l'hiver à la fin de l'automne, en maximisant la ressource herbagère grâce à des vèlages groupés sur janvier-mars, il est logique de retrouver cette saisonnalité sur les indicateurs, notamment ceux liés à la reproduction et à la production laitière. Les troubles locomoteurs sont davantage observés l'été, et seraient vraisemblablement liés aux conditions de pâturage (cailloux, météo). Les troubles d'expression des chaleurs sont davantage observés en début de période de reproduction (avril), quant aux affections de l'appareil reproducteur, elles sont plutôt observées suite aux mises-bas et davantage en février-mars, début de la période à risque (cf. annexe 21).

Tableau 7: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des vaches

Indicateur	Points d'abscisse des signaux de déséquilibre en nième mois depuis janvier 2005	Correspondance en mois et année
Mammites	16 35 86	avr06, nov07, fev12
Cellules	11 12 24 35 48 60 71 72 84 97 108 121	nov05, dec05, dec06, nov07, dec08, dec09, nov10, dec10, dec11, jan13, dec13, jan15
Locomoteur	18 30 66 90 114	juin06, juin07, juin10, juin12, juin14
Chaleurs	30 38 54	avr09, avr10, mai12
Reproducteur	2 3 15	fev06, mar06, mar07
Echecs Repro		2006

Les signes du déséquilibre sur l'indicateur « cellules » sont plutôt observés à la fin de la lactation. Cela est dû à la physiologie de la lactation mais aussi aux pratiques d'élevage. Pour mesurer cet indicateur, j'ai utilisé les données de traitements curatifs enregistrés en tant que « mammites subcliniques – cellules » ou bien en tant que « tarissement ». Ces traitements ont été réalisés pour pallier deux situations. Dans un cas il s'agit d'un traitement en cours de lactation, lorsque le lait de tank est pénalisé par la laiterie à cause de CCS (Comptage en Cellules Somatiques) supérieurs à 250 000 cellules/ml. Les animaliers recherchent alors les vaches qui plombent le niveau de cellules et les traitent. Dans un autre cas, il s'agit de traitements qui ont lieu au tarissement. A la fin de chaque campagne, les animaliers recherchent les vaches qui ont des CCS supérieurs à 300 000 cellules/ml et les traitent.

Enfin, l'indicateur « mammites » montre 3 signaux de déséquilibre, sans effet de saisonnalité. Cependant, la détection des signes de déséquilibre dans ce cas est d'autant plus sensible que le troupeau présente très peu de mammites sur la période d'étude (36 cas en 11 ans, soit en moyenne 3 mammites par an). On peut donc nuancer ces résultats. Certes, la prévalence de mammites ces mois là était plus forte que sur les autres mois de l'étude, mais pour autant, il est peu probable que ces périodes correspondent à des moments de déséquilibre, à moins qu'elles ne résultent de déséquilibres sur d'autres indicateurs sanitaires.

e. Synthèse partielle

Une figure de synthèse permet d'identifier les années où les différents indicateurs ont présenté des signaux de déséquilibre (voir figure ci-après n°13). On remarque ainsi que les années 2006 et 2007 sont celles qui présentent le plus d'indicateurs qui ont été en potentiel déséquilibre au cours de ces deux années. A l'inverse, les années 2005, 2008, 2011 et 2013 ne présentent de déséquilibre que sur l'indicateur « cellules » et l'année 2015 ne présente aucun signe de déséquilibre. On peut également relever que les années où on a détecté des signaux du déséquilibre pour l'indicateur « chaleurs » ne correspondent pas à celles où on a détecté des signaux pour les indicateurs « reproducteur » et « échec repro ». A l'inverse, les années où il y a eu des signaux pour ces deux derniers indicateurs, il y a également eu des signaux pour « locomoteur ». On a aussi observé une co-occurrence des signaux pour l'indicateur « échec repro » et « reproducteur » en 2006 mais pas en 2007. Enfin, chaque fois que nous avons observé un signal de déséquilibre sur une année pour l'indicateur « mammites », ce signal était accompagné par d'autres signaux sur d'autres indicateurs, et systématiquement par celui des troubles locomoteurs.

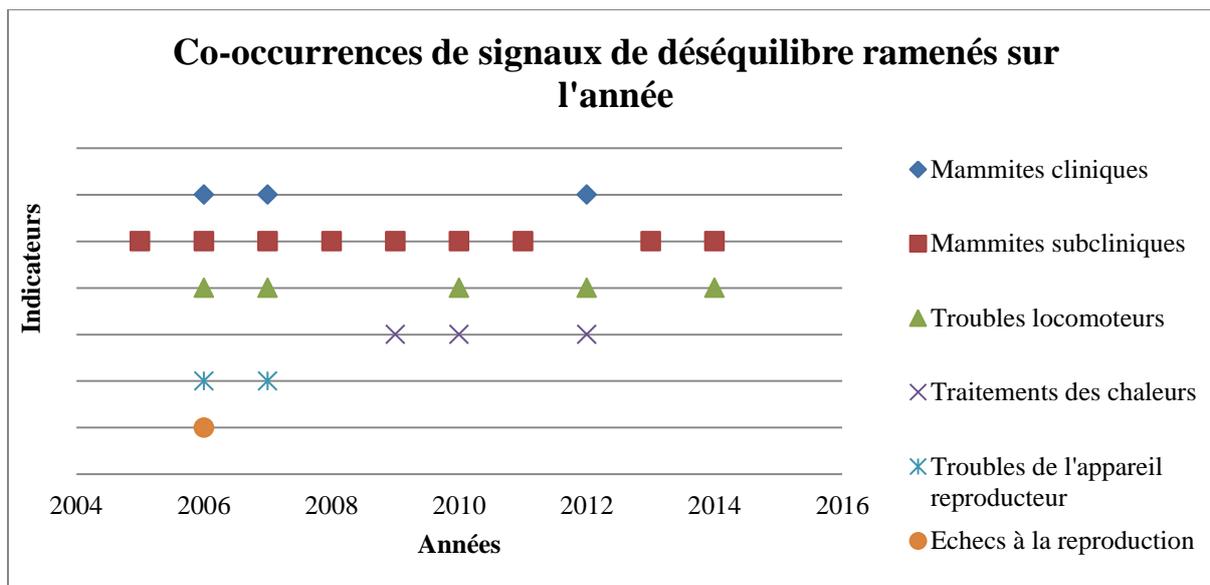


Figure 13: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Vaches

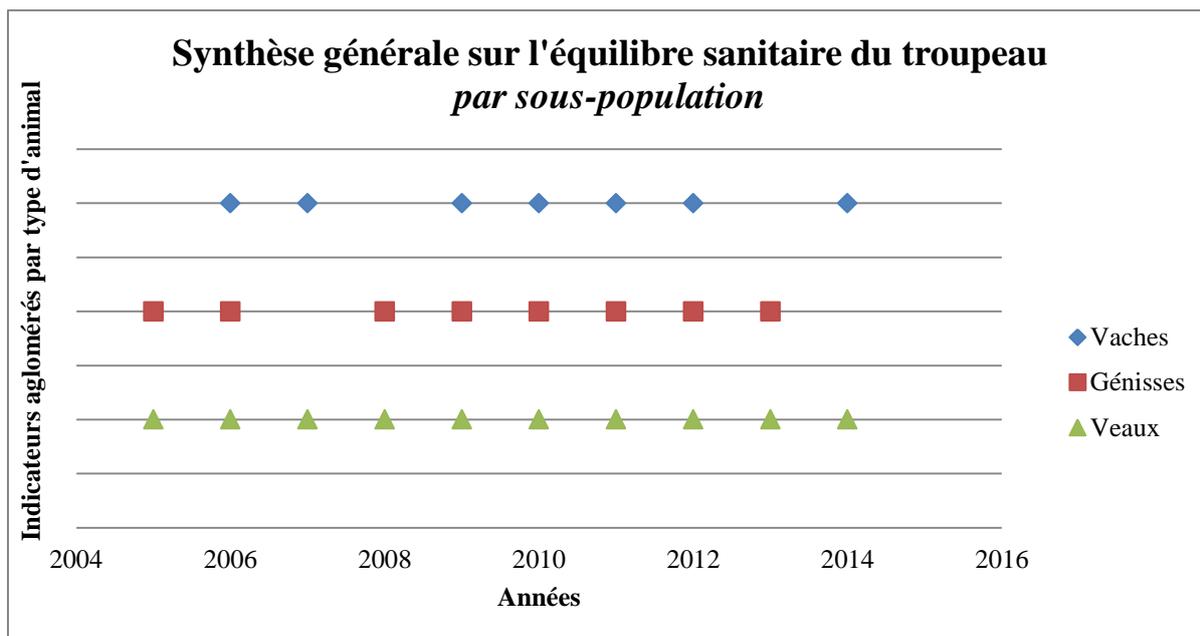


Figure 14: Synthèse générale sur l'équilibre sanitaire du troupeau - vue globale par sous-population

Les indicateurs choisis semblent donc permettre de valider une partie de l'hypothèse émise dans le point V.1.b. On a ainsi montré des signes de déséquilibre en 2006, 2010, et 2012 à la fois dans l'analyse des causes de réforme et des indicateurs. Nous n'avons cependant pas réussi à expliquer le taux de réforme élevé de 2011 à l'aide de ces indicateurs. Par contre, nous avons pu identifier une nouvelle période de potentiel déséquilibre en 2007.

Si la plupart des indicateurs semblent pertinents pour étudier l'équilibre sanitaire de Mirecourt (cf. parties synthèse bibliographique et discussion), on peut cependant remettre en question les indicateurs choisis sur la santé de la mamelle « mammites » et « cellules ». En effet, Mirecourt semble présenter trop peu de mammites cliniques pour pouvoir suivre cette variable comme indicateur de l'équilibre sanitaire. Comme l'élevage présente une bonne maîtrise des mammites, cet indicateur ne peut logiquement pas nous permettre d'identifier de potentiels signaux précurseurs du déséquilibre. Cependant, la détection de signaux sur cet indicateur pourrait être révélatrice de la répercussion d'une situation sanitaire défavorable et donc constituer une détection non pas précoce mais *a posteriori*. En effet, on a pu voir qu'un signal sur « mammites » s'accompagne toujours de signaux sur d'autres indicateurs.

Par ailleurs, l'indicateur « cellules » ne semble pas opportun, pour deux raisons. Tout d'abord parce que les niveaux cellulaires représentent davantage un certain aspect de la qualité du lait plutôt que la santé de l'animal. En effet, le lien entre cellules somatiques du lait et santé de la vache est de plus en plus remis en question. Car un taux de cellules élevé peut être interprété comme un niveau d'infestation élevé et donc un niveau de santé affaibli, mais aussi comme une réaction immunitaire forte, un système immunitaire efficace et donc un animal en bonne santé. De plus, le lien direct entre niveau cellulaire et infection peut être critiqué (Rupp & Boichard, 2001). En effet, comme il est possible de sélectionner des vaches sur leur niveau de CCS (comme le démontre le troupeau expérimental de l'INRA du Pin-au-Haras en Normandie, Lefebvre et al., 2014), il paraît donc que ce caractère ait, en partie, une explication génétique et ne soit donc pas seulement le fait d'une infection. La seconde raison est que cet indicateur présente une variabilité bien trop forte, du fait de sa saisonnalité, pour pouvoir détecter une rupture due à un déséquilibre sanitaire. Vraisemblablement, les signaux renvoyés par cet indicateur traduisent donc davantage des choix stratégiques, des pratiques d'élevage, qu'un quelconque statut sanitaire. Cet indicateur permet par contre de suivre un certain type de traitement dans le temps et donne donc une indication sur la quantité de traitements réalisés et leurs pics de concentration.

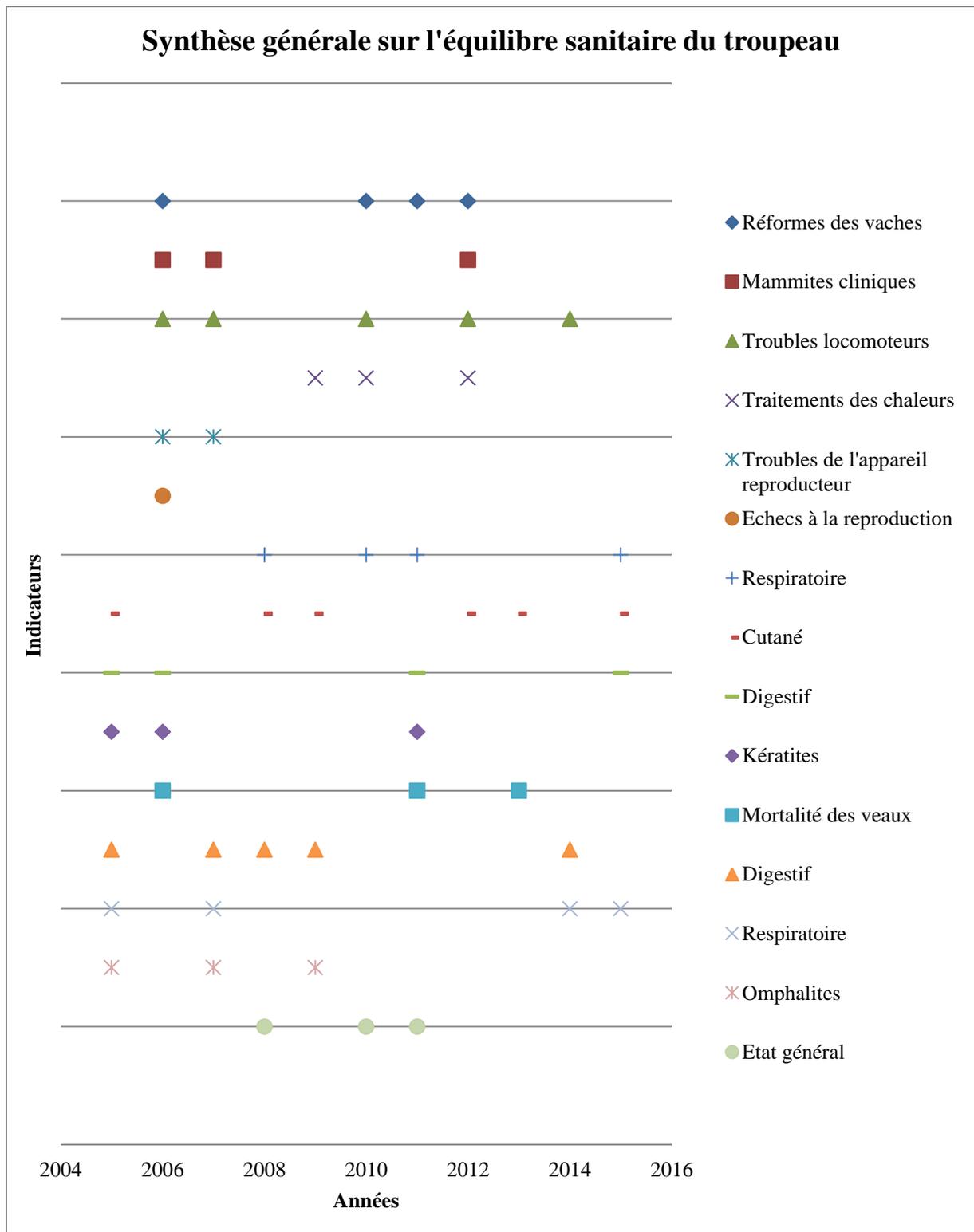


Figure 15: Graphique de synthèse générale sur l'équilibre sanitaire du troupeau

2. La synthèse de l'équilibre sanitaire du troupeau

Les indicateurs retenus pour chaque type d'animal nous permettent donc de décrire l'évolution d'un certain état sanitaire du troupeau.

Nous avons ainsi modélisé et étudié les réformes, les mammites cliniques, les mammites subcliniques, les troubles locomoteurs, les troubles d'expression des chaleurs, les affections de l'appareil reproducteur et les échecs à la reproduction pour représenter l'équilibre sanitaire des vaches ; les troubles de l'appareil digestif, les maladies respiratoires, les affections cutanées et les kératites pour suivre celui des génisses ; et la mortalité, les troubles digestifs, les problèmes respiratoires, les omphalites et les affections de l'état général pour celui des veaux (voir annexes 19 et 20).

La modélisation sur R des indicateurs nous permet d'effectuer un suivi rétrospectif de chaque indicateur. Ainsi, il est possible de suivre l'évolution sur 11 ans d'un équilibre sanitaire partiel à travers chacun de ces indicateurs, étudiés un par un. Grâce à cela nous avons pu détecter des périodes de stabilité et des signaux de déséquilibre. Les années ayant présenté des signaux ont été identifiées et les indicateurs ont été regroupés sur un même graphique afin d'avoir une vue relativement globale de l'équilibre sanitaire. J'ai d'abord effectué un regroupement par sous-population afin d'étudier l'équilibre sanitaire des vaches, des génisses puis des veaux respectivement. Pour finir, j'ai rassemblé tous les indicateurs (sauf celui des mammites subcliniques qui ne semblait pas pertinent) sur un même graphique afin de visualiser ces résultats à l'échelle du troupeau.

L'année qui présente le plus d'indicateurs en potentiel déséquilibre est donc 2006. Puis les années 2005, 2007 et 2011 en présente aussi beaucoup (6 indicateurs sur 15) mais ne concernent pas toujours l'ensemble des sous-populations. A l'inverse, l'année 2013 est celle qui présente le moins d'indicateurs en déséquilibre avec seulement deux indicateurs en alerte : « cutané » pour les génisses et « mortalité » pour les veaux. Les années 2008, 2009, 2014 et 2015 présentent une situation intermédiaire avec relativement peu d'indicateurs dans le rouge (4 sur 15) mais des situations souvent de déséquilibre au niveau de la santé des veaux, notamment sur l'indicateur « digestif ». On peut ainsi conclure qu'il est rare d'être en équilibre partout et que des perturbations de l'équilibre de la santé ont lieu tous les ans, à différents niveaux. Cependant, certaines années peuvent marquer plus que d'autres, de par un effet d'accumulation de différents troubles (voir figures 14 et 15).

VI. DISCUSSION

1. Rappel des principaux résultats

Cette première étude, pionnière et exploratoire, a permis d'avancer sur la définition de l'équilibre sanitaire et a abouti au développement d'une méthode pour le modéliser à l'échelle d'un troupeau et sur plusieurs années. La mise en application de cette méthode sur le troupeau herbager de Mirecourt a permis de situer, sur les 11 années d'étude, des périodes de relative stabilité et d'autres plus instables.

D'après la synthèse bibliographique, l'équilibre sanitaire peut être défini comme un état global et dynamique de bonne santé qui permet aux troupeaux de maintenir leur niveau de santé en faisant face aux changements et aux agressions de leur environnement, plus ou moins stable dans le temps. Notre méthode ne permet pas de valider les deux hypothèses selon lesquelles l'équilibre sanitaire requiert une faible proportion d'animaux malades et un niveau d'intrants médicamenteux bas. En effet, l'équilibre sanitaire est atteint quand les indicateurs sont relativement stables dans le temps, peu importe leur niveau. Ainsi, plutôt qu'un état de bonne santé, l'équilibre sanitaire, tel qu'abordé dans notre méthode, représenterait plutôt un état de santé stable. Le déséquilibre sanitaire, considéré dans la bibliographie comme une perte de santé qui se traduit, à l'échelle du troupeau, par l'occurrence de troubles, peut prendre un deuxième sens dans notre approche. En effet, il serait possible qu'un déséquilibre consiste en un regain de santé à l'échelle du troupeau.

Nous avons montré qu'une certaine conception de l'équilibre sanitaire peut être modélisée à partir d'indicateurs directs (mortalité, réforme et pathologies) et indirects (performances zootechniques). Nous avons ainsi construit une démarche qui permet de représenter l'évolution de l'équilibre sanitaire dans le temps à partir de plusieurs indicateurs étudiés individuellement. Nous avons élaboré cette approche dans un cadre GLM en testant différentes lois de probabilité. La loi binomiale négative permet ainsi de modéliser un grand nombre de nos indicateurs.

Cette méthode nous permet d'identifier des mois et des années qui présentent des signes de rupture d'une certaine stabilité. Ces signes pourraient correspondre à des déséquilibres. Ainsi, sur le troupeau de Mirecourt, on soupçonne que l'année 2006 en particulier présente une période globale de déséquilibre à l'échelle du troupeau. Notre méthode permet aussi d'analyser plus finement certains indicateurs ou certaines sous-populations du troupeau.

2. La valeur de nos résultats

Cette méthode ne nous permet pas de détecter directement, ni de manière certaine, des périodes d'équilibre et de déséquilibre sanitaire au sein d'un troupeau. Cependant, elle nous permet, à travers l'analyse temporelle de certains indicateurs judicieusement choisis, de relever des signaux potentiellement révélateurs d'une certaine perturbation par rapport à une période stable. A ce stade de notre étude, il est plus prudent de se limiter à une lecture de nos résultats sous forme d'hypothèses, du type « nous supposons que l'équilibre sanitaire se définit comme... », « nous supposons que le troupeau était en équilibre sanitaire entre la date t_0 et t_1 », « nous supposons qu'un déséquilibre est survenu au moment t », etc. Ces hypothèses ont été présentées à l'équipe d'ASTER et une discussion est en cours sur la validation de nos résultats. Il s'agit en particulier de comprendre, pour chaque indicateur, les variations observées au regard des pratiques mises en place et des événements survenus pendant la période d'étude afin de conclure sur les périodes où le troupeau était en « équilibre » et en « déséquilibre » sanitaire.

Les modélisations que j'ai pu réaliser, et en particulier les sorties graphiques du logiciel R, constituent des supports de discussion. Elles permettent, entre autre, de nuancer les ressentis d'éleveurs en objectivant un certain état sanitaire à partir de quelques indicateurs suivis dans le temps. Elles permettent également de visualiser un certain équilibre de base (propre à chaque indicateur) grâce à la représentation de l'espérance des variables étudiées. Cet équilibre de base est caractéristique d'un élevage et résulte de certaines pratiques.

Bien que nous ayons adopté une approche intra-élevage, il serait envisageable de comparer directement les profils de variation des équilibres de base (ie des espérances) entre plusieurs élevages pour un même indicateur donné. Notamment, il pourrait être intéressant de relever le niveau de ces équilibres. En effet, on a remarqué que pour tout indicateur à l'équilibre, cet équilibre est caractérisé par un niveau qui représente une prévalence plus ou moins élevée d'animaux malades (ou porteur du trouble étudié) quelque soit la taille de la population.

3. Limites de l'étude

La méthode développée présente un certain nombre de biais et de limites. Tout d'abord, elle ne permet pas une lecture directe des variations de cet équilibre. En effet, ne prenant pas en compte les éventuelles interactions entre les différents indicateurs étudiés, cette méthode ne représente qu'un équilibre partiel de la santé, qui demande plusieurs niveaux d'interprétation.

Par ailleurs, cette méthode demande exhaustivité et assiduité dans la collecte des données. En effet, nous avons mobilisé beaucoup de données, collectées au jour le jour, sur chaque individu, sur une période de onze ans. Or, il est assez rare de pouvoir obtenir ce type de base de données, très lourde à construire et à alimenter avec un tel niveau de précision. Non seulement cette méthode est assez lourde à mettre en place, mais elle a l'inconvénient d'être très peu automatisable. En effet, ce travail d'analyse est très spécifique de l'élevage étudié et des indicateurs sélectionnés. Cela nécessite donc un travail de réflexion important sur chaque indicateur, notamment pour construire les vecteurs N et Y. C'est d'ailleurs la partie du traitement statistique qui a été la plus chronophage et la plus fastidieuse.

Ayant travaillé avec les autres stagiaires du projet à adapter la méthode à leurs objets d'étude, j'ai rencontré des difficultés pour adapter la méthode à la gestion par lot. En effet, lorsque l'information sur l'élevage est très peu individualisée et que les animaux ne sont pas tous enregistrés (comme cela peut-être le cas des chevreaux qui ne font pas partie du renouvellement), il est difficile de retrouver des données précises sur les effectifs.

Si cette méthode a l'avantage de présenter une certaine souplesse (notamment dans le type d'indicateurs qui peuvent être étudiés et le choix des seuils de détection), il est cependant difficile de prendre en compte le point de vue de l'éleveur. En effet, cette méthode ne prend pas en compte de choix arbitraires ou subjectifs comme le degré d'acceptabilité de l'éleveur face à un problème sanitaire ni son temps de réaction. Ainsi, l'éleveur, ou l'équipe d'ASTER ici, pourrait ne pas être d'accord avec l'intervalle de confiance à 95%. Ils pourraient être moins tolérants (intervalle inférieur à 95%) ou bien plus laxistes (seuil supérieur à 95%) face à un trouble donné. L'amplitude de l'intervalle de confiance est donc discutable.

Par ailleurs, on a pu constater pour certains indicateurs que le seuil de détection d'un signal était très sensible, notamment pour les mammites. Il semble donc que cette méthode ne soit pas très adaptée aux pathologies présentant peu de cas sur la période d'étude. A ce sujet, tous les indicateurs suivis dans cette étude ne sont peut-être pas pertinents.

4. Perspectives

Cette méthode mérite ainsi d'être approfondie et retravaillée afin de détecter de manière plus directe et plus sûre les périodes d'équilibre et de déséquilibre sanitaire. Tout d'abord il serait intéressant de s'intéresser à la sensibilité de cette méthode. Il s'agirait ainsi de déterminer à partir de combien de cas et de quelle durée d'étude cette méthode donne des résultats

satisfaisants. De plus, il serait opportun de mener un travail de réflexion sur le choix de l'intervalle de confiance et la manière d'y intégrer le point de vue de l'éleveur. De même, un travail de vérification, d'approfondissement et d'harmonisation devra être mené pour reprendre les travaux effectués sur les 5 sites, en particulier sur la sélection des indicateurs, le calcul des populations à risque et le choix des pas de temps. Ce travail pourra aussi aborder les problématiques d'optimisation du code et d'automatisation pour tenter de réduire le temps de traitement.

Ce travail pourra également être poursuivi dans le but de tester d'autres modèles, comme des modèles ZIP (modèles poissonniens avec une sur-représentation de zéro) ou des modèles de mélange (mélange de plusieurs lois comme deux lois de Poisson ou bien une Poisson et une binomiale négative). Nous avons d'ailleurs déjà testé à titre exploratoire un modèle de mélange de deux lois de Poisson sur les indicateurs des veaux et les résultats semblaient plus satisfaisants qu'avec la loi binomiale négative.

Une prochaine étape consistera aussi à étudier les liens qui existent entre les différents indicateurs de l'équilibre sanitaire du troupeau. Cette étude se fera notamment à travers la recherche de corrélations par des méthodes d'analyses multivariées de type MANOVA⁸ (dans le cas de résidus gaussiens) et GEE⁹ (résidus non gaussiens). Cela pourra concourir à réduire le nombre d'indicateurs suivis, et donc le temps de traitement, et à obtenir une fonction de l'équilibre sanitaire qui permettra ainsi une détermination directe des résultats (troupeau en équilibre ou en déséquilibre). Il pourra aussi être question de tester des facteurs afin d'identifier, voire d'intégrer dans les modèles, les variables explicatives qui influencent l'équilibre sanitaire.

Tous ces éléments feront l'objet d'un stage de Master 2 en statistiques l'année prochaine. Par ailleurs, dès janvier 2017 débutera une enquête auprès d'une centaine d'élevages commerciaux (bovins, ovins, caprins) qui permettra d'avancer sur ces questions. Pour être appliquée en ferme commerciale, cette démarche devra être repensée et adaptée car nous devinons déjà les difficultés que nous allons y rencontrer. En effet, les résultats obtenus, la détermination des troupeaux en équilibres ou déséquilibres sanitaires, dépendent essentiellement de la quantité et de la qualité des données collectées. Or nous savons déjà que nous aurons accès à bien moins de données sur les fermes commerciales que sur les domaines

⁸ Multivariate ANalysis Of VAriance, analyse multivariée de la variance

⁹ Generalized Estimated Equation

expérimentaux avec lesquels nous avons travaillé. Tout d'abord parce que les éleveurs ne sont pas tenus de conserver les carnets sanitaires au-delà de cinq ans, et ensuite ces carnets sont tenus de manière très aléatoires. Nous soupçonnons donc de ne pouvoir collecter que les données qui intéressent l'éleveur et leur filière, c'est-à-dire des données démographiques, les performances zootechniques et les traitements sur les quelques pathologies qui les préoccupent, autrement dit, les pathologies qui impactent la qualité des produits vendus. De plus, le flou de la réglementation sur les médecines alternatives réduit l'accessibilité à ces données, puisque certains éleveurs biologiques ne consignent dans le carnet sanitaire que les traitements soumis à déclaration. Une des questions que nous nous posons est donc de savoir si nous serons en capacité d'étudier l'équilibre sanitaire des troupeaux ou bien plutôt l'équilibre sanitaire des produits issus des élevages biologiques enquêtés.

5. Confrontation des résultats à la bibliographie

Notre approche méthodologique est pionnière mais elle mobilise des outils de référence. Elle se base sur une conception de l'équilibre sanitaire qui résulte d'une synthèse bibliographique relativement exhaustive. Ainsi, les indicateurs sélectionnés sont très proches de ceux rencontrés dans les études de la santé des troupeaux bovins laitiers. Par ailleurs, le fait de séparer l'étude des vaches, des génisses et des veaux semble aussi justifié car ces différents types d'animaux ne sont pas élevés ensemble. Ils reçoivent ainsi des traitements différents, notamment en termes de logement et d'alimentation. De plus, ces animaux ont un métabolisme relativement différent, sont exposés à différents facteurs et ne sont pas sensibles aux mêmes maux. Il est donc logique que ces sous-populations présentent des probabilités différentes de déclencher une même pathologie. Ce type de distinction par catégorie d'animal se retrouve d'ailleurs dans les études épidémiologiques (Kelton et al., 1998). Enfin, si nous avons montré les limites de certains indicateurs étudiés (voir partie V.1.e sur « mammites » et « cellules »), notamment au regard de la bibliographie, il semble que d'autres indicateurs, notamment ceux utilisés par les éleveurs, pourraient se révéler pertinents. On peut ainsi faire référence aux signes de la méthode Obsalim (Giboudeau, 2014), aux NEC (Notes d'Etat Corporel) (Nicourt et Cabaret, 2011) ou encore à des observations d'éleveurs sur le comportement des animaux, notamment à l'auge et à la pâture. Les données sur le nombre de traitements et les coûts économiques dus au sanitaire sont, eux, sans doute de mauvais indicateurs car ils sont fortement dépendants des conceptions et des pratiques des éleveurs, qui peuvent être très différentes, même au sein de la Bio (Nicourt et Cabaret, 2011).

CONCLUSION

Ce stage a permis d'avancer sur la définition et l'objectivation de la notion d'équilibre sanitaire. En particulier, il a permis de mettre en place une méthodologie bien définie avec une approche (un formalisme biologique qui présente les hypothèses), un protocole, et des scripts. Cette méthodologie permet de caractériser et représenter dans le temps les états d'équilibre et de déséquilibre de la santé d'un troupeau à partir de quelques indicateurs sélectionnés spécifiquement pour la filière et l'élevage étudiés. Notre démarche a pu être mise en application sur 5 bases de données différentes, représentant chacune une dizaine d'années d'expérimentation système sur les fermes de Mirecourt (bovin lait), Saint-Genest-Malifaux (caprin lait), Orcival (ovin viande), Naves (bovin viande) et Thorigné d'Anjou (bovin viande).

A ce stade, nous avons relevé plusieurs limites et difficultés. En particulier, la méthode développée et mise en œuvre est relativement lourde et complexe. Elle demande beaucoup de réflexion au cas par cas et des capacités en programmation sous R. En effet, l'automatisation est très réduite pour le moment. Bien que des scripts « modèles » aient été édités, il faut presque systématiquement passer par une phase d'appropriation du script, d'adaptation, voire de développement en programmation. Aussi, le risque d'erreur existe.

Si cette méthodologie, comme le débat sur la notion d'équilibre sanitaire, est loin d'être aboutie, elle suscite cependant l'intérêt et semble prometteuse. En effet, l'un comme l'autre a le potentiel de s'affiner, de se clarifier et de se développer. Les limites et les lacunes soulevées dans la discussion devront alors être investiguées et retravaillées. Ainsi, l'équilibre sanitaire présente bien le potentiel d'un critère plus global de la santé des troupeaux, mieux adapté à la Bio. Et la démarche développée lors de mon stage répond bien à l'ambition initiale de constituer la base d'un outil de prédiction du déséquilibre. Ce travail ne s'arrête pas là, il va se poursuivre à travers les prochaines actions du projet OTOVEIL, notamment la tâche 2.2 et la réalisation d'une enquête en fermes commerciales suivie d'une analyse des états d'équilibre et de déséquilibre de ces fermes. Ce travail se poursuit également dans les travaux que l'unité EpiA mène avec ses partenaires, et en particulier dans le cadre d'Equibio.

Je suis ravie d'avoir participé à ce projet et d'avoir réalisé ce stage. Ces six mois m'ont réellement permis de m'approprier le sujet et la problématique. De plus, les missions d'animation et de coordination qui m'ont été confiées ont été très formatrices. Enfin, je sors enrichie des enseignements de statistiques et programmation que j'ai tirés du développement méthodologique sous R. J'ai ainsi rempli les objectifs professionnels que je m'étais fixés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence BIO. Qu'est-ce que la bio ? – Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique – Agence BIO [en ligne]. Disponible sur <http://www.agencebio.org/quest-ce-que-la-bio> Consulté le 28.08.2016.

Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis*. 2ème édition. Wiley, New Jersey, 710 p.

Assemblée nationale. Assemblée nationale ~ Compte rendu de réunion de la commission des finances, de l'économie générale et du contrôle budgétaire [en ligne]. Disponible sur <http://www.assemblee-nationale.fr/14/cr-cfiab/15-16/c1516079.asp> Consulté le 22.07.2016

Association L214. (2016, 25 mai). *Matines : Dans l'enfer des cages* [Vidéo en ligne]. Disponible sur <http://www.l214.com/enquetes/2016/05/oeuf-poules-pondeuses/> Consulté le 07.07.2016.

Association L214. (2016, 29 mars). *Derrière les murs d'un abattoir certifié bio* [Vidéo en ligne]. Disponible sur <http://www.l214.com/enquetes/2016/abattoir-made-in-france/le-vigan/> Consulté le 07.07.2016.

Association L214. (2016, octobre). *Cruauté à l'abattoir d'Alès* [Vidéo en ligne]. Disponible sur <http://www.l214.com/enquetes/2015/abattoir-made-in-france/> Consulté le 07.07.2016.

Bareille, N. (2015). Equibio. Biologie Epidémiologie [en ligne]. Disponible sur <https://www6.angers-nantes.inra.fr/bioepar/Projets/Equibio> Consulté le 15.07.2016.

Bareille, N., Hellec, F. (2014). Le réseau SAEB et les perspectives de recherche. *Alter Agri*, juil.-août., 7-8.

Blokhuis, H. J., Veissier, I., Miele, M., Jones, B. (2010). The Welfare Quality® project and beyond: Safeguarding farm animal well-being. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 60 (3), 129-140 [en ligne]. Disponible sur <http://dx.doi.org/10.1080/09064702.2010.523480> Consulté le 30.08.2016.

Blokhuis, H.J., Jones, R.B., Geers, R., Miele, M., Veissier, I. (2003). Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. *Animal Welfare*, 12, 445-455.

Bouy, M., Ruault, C. (2015). Pratiques de santé animale : prévention et approche globale, ce que les enquêtes auprès d'éleveurs nous apprennent. Présenté à : la journée « Santé animale et dynamiques de groupe: une vraie synergie », Paris, FRA (05/11/2015) [en ligne]. Disponible sur <http://www.itab.asso.fr/downloads/synergie/synthese-pratiques-intergroupes.pdf> Consulté le 30.08.2016.

Bray, J.H., Maxwell, S.E. (1985). *Multivariate Analysis of Variance*. Sage University Paper, Newbury Park, Californie, USA, 59, 07-54 (Collection Quantitative applications in the social sciences).

Broom, D.M. (1986). Indicators of poor welfare. *Br. Vet. J.*, 142 (6), 524-526.

Cabaret, J., Nicourt, C. (2009). Les problèmes sanitaires en élevage biologique : réalités, conceptions et pratiques. *Inra Prod. Anim.*, 22 (3), 235-244.

Cabaret, J., Nicourt, C. (2011). La maladie animale entre visions ontologique et fonctionnelle: jachère des croyances ou culture de l'interdisciplinarité en élevage biologique. Présenté au : Colloque SFER/RMT « Les transversabilités de l'Agriculture Biologique », Strasbourg, FRA (23-06-2011 – 24-06-2011) [en ligne]. Disponible sur <http://prodinra.inra.fr/record/45534> Consulté le 30.08.2016.

Camara, C. (2015). Caractérisation statistique d'états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires à partir de données de production laitière, de reproduction et de démographie en élevages bovins laitiers conventionnels et biologiques. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Nantes. Oniris : Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique, 109 p.

Canguilhem, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. PUF, Paris, ed Quatrième, 1993, 232 p.

Commission au Parlement européen, au Conseil, Comité économique et social européen et au Comité des régions. Communication sur une nouvelle stratégie de santé animale pour l'Union européenne (2007-2013) placée sous la devise «Mieux vaut prévenir que guérir» [en ligne]. Disponible sur <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A52007DC0539> Consulté le 22.07.2013.

Commission des Communautés Européennes. Règlement (CE) N° 889/2008 de la Commission du 5 septembre 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits

biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles [en ligne]. Journal officiel de l'Union Européenne, n° L 250 du 5 septembre 2008. Disponible sur <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:0084:fr:PDF>
Consulté le 30.08.2016.

Conseil de l'Union Européenne. Règlement (CE) N° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007, relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91 [en ligne]. Journal officiel de l'Union Européenne, n° L 189 du 20 juillet 2007. Disponible sur <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:189:0001:0023:FR:PDF> Consulté le 30.08.2016.

Croisier, M., Croisier, Y. (2011). Hygiène et santé en élevage. Tome 2 : Le troupeau. Educagri, Paris, 189 p. (Collection J'apprends).

Darré, J.-P. (2006). Recherche coactive de solutions entre agents de développement et agriculteurs. Gret, Paris, 112 p.

Dawkins, M.S. (2006). A user's guide to animal welfare science. Trends in Ecology and Evolution, 21 (2), 77-82.

Deblay, S. éd. (2011). Maîtriser la santé des animaux d'élevage. Edition actualisée. Educagri, Dijon, 94 p. (collection Cible).

Demarthe, A.-L. (2016). Les phases d'équilibre et de déséquilibre sanitaire du troupeau bovin allaitant de Thorigné d'Anjou. Mémoire de fin d'études ingénieur, Lille, ISA de Lille, 86 p.

Döring, T.F., Vieweger, A., Pautasso, M., Vaarst, M., Finckh, M.R., Wolfe, M.S. (2015). Resilience as a universal criterion of health. J. Sci. Food Agric., 95, 455-465.

Ducrot C., Lalmanach, A.-C., Schouler, C., Monnet, V., Sanders, P., Fric, D. (A paraître). Alternatives thérapeutiques aux antibiotiques en élevage. Productions Animales.

Duncan, I.J.H. (2005). Science-based assessment of animal welfare: farm animals. Rev. sci. tech. off. int. Epiz. , 24 (2), 483-492.

Experton, C. (2014). La nature au service de la santé animale, L'approche globale de la santé animale : des besoins de terrain à la question de recherche. Alter Agri, juil.-août., 6-7.

Farm Animal Welfare Council (1992). FAWC updates the Five Freedoms. *Veterinary Record*, 131, 357.

Forbes, C., Evans, M., Hastings, N., Peacock, B. (2011). *Statistical Distribution*. 4ème édition. Wiley, New Jersey, 212 p.

Fourichon, C., Seegers, H., Bareille, N., Beaudeau, F. (2001). Estimation des pertes et de l'impact économiques consécutifs aux principaux troubles de santé en élevage bovin laitier. *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 137-143 [en ligne]. Disponible sur http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2001_pathologie_01_fourichon.pdf Consulté le 30.08.2016.

Fric, D. Le sanitaire en Bio [en ligne]. Disponible sur <http://www.fric-denis.fr/195011191> Consulté le 30.08.2016

Gabriel, J.-P., Saucy, F., Bersier, L.-F. (2005). Paradoxes in the logistic equation ? *Ecological Modelling*, 185, 147-151.

Gao, J., Barzel, B., Laszlo Barabasi, A. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, 530, 307-312.

Giboudeau, B. (2007). Jouer l'atout des symptômes alimentaires. *PLM*, 377, 51-65.

Giboudeau, B. (2012). *Les vaches nous parlent d'alimentation : 143 symptômes bovins*. 4ème édition. Obsalim, 366 p.

Ginzburg, L.R. (1992). Evolutionary consequences of basic growth equations. *Trends Ecol. Evol.* 7, 133.

Grosmond, G. (2016). Evaluation et comparaison des différentes thérapeutiques alternatives en élevage. *Le Point Vétérinaire*, [Numéro spécial] 47, 84-89.

Grosmond, G. (2016). Santé animale et stratégie alternative en techniques d'élevage. *Le Point Vétérinaire*, [Numéro spécial] 47, 108-112.

Haimès, Y.Y. (2009). On the definition of resilience in systems. *Risk Anal.*, 29, 498-501.

Hugues, B.O. (1996). Behaviour as index of welfare. pp 1005-1018 Dans: "Proc. 5th Eur. Poultry Conf.", Malta.

IDELE (2011). Analyse de données de dénombrements et de taux. Présenté à : IDELE. Séminaire d'épidémiologie animale, Paris, FRA (28-09-2011 – 30-09-2011) [en ligne]. Disponible sur file:///C:/Users/Tiphaine/Downloads/pdf_2.5-epidem_analytique_analyses_donnees_denombrement.pdf Consulté le 31.08.2016.

IFOAM. Les principes de l'Agriculture Biologique, préambule [en ligne]. Disponible sur http://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_french_web.pdf Consulté le 28.08.2016.

INAO. Agriculture Biologique [en ligne]. Disponible sur <http://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQO/Agriculture-Biologique> Consulté le 28.08.2016.

INRA. Inra – Méta-programme Gestion intégrée de la santé des animaux [en ligne]. Disponible sur <http://www.gisa.inra.fr/> Consulté le 10.07.2016.

Issautier, M.-N., Lardy, C., Sawaya, S. (2016). Soigner autrement : trouver l'équilibre pour mieux produire. Le Point Vétérinaire, [Numéro spécial] 47, 3.

Kelton, D.F., Kerry, D.L., Martin, R.E. (1998). Recommendations for recording and calculating the incidence of selected clinical diseases of dairy cattle. J. Dairy Sci., 81 (9), 2502-2509.

Killick, R., Haynes, K. (2016). Methods for Changepoint Detection. Package 'changepoint' [en ligne]. Disponible sur <https://cran.r-project.org/web/packages/changepoint/changepoint.pdf> Consulté le 30.08.2016.

Lardy, C., Issautier, M.-N. (2016). Cadre réglementaire d'utilisation des traitements alternatifs en élevage bovin. Le Point Vétérinaire, [Numéro spécial] 47, 46-50.

Larsen, J.B. (1995). Ecological stability of forests and sustainable silviculture. Forest Ecol. Manage., 73, 85-96.

Lavorel, S. (1999). Ecological diversity and resilience of Mediterranean vegetation to disturbance. Divers distrib, 5, 3-13.

Le Monde. Pourquoi les coupes dans le budget de la recherche, annulées en partie, ne passaient pas [en ligne]. Disponible sur http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2016/05/25/pourquoi-les-coupes-dans-le-budget-de-la-recherche-ne-passent-pas_4926390_4355770.html Consulté le 22.07.2016.

Le Président de la République Française, Chirac, J., et al. Loi n° 2005-1719 du 30 décembre 2005 de finances pour 2006 - Article 52 [en ligne]. Disponible sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=15123FB4681C0C3208204820DB280DCB.tpdila15v_2?idArticle=LEGIARTI000030022987&cidTexte=LEGITEXT000006053032&dateTexte=20160722 Consulté le 22.04.2016.

Le Président de la République Française, Hollande, F., et al. Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt [en ligne]. JORF n°0238 du 14 octobre 2014, p. 16601, Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2014/10/13/AGRX1324417L/jo/texte> Consulté le 30.08.2016.

Lefebvre, R., Barbey, S., Gallard, Y., Boichard, D. (2014). Une expérimentation bovine de sélection divergente sur la résistance aux mammites cliniques et la mobilisation corporelle des races Holstein et Normande. Dans: Renc. Rech. Ruminants (p. 265). Présenté à : 21. Renc. Rech. Ruminants (3R), Paris, FRA (03-12-2014 – 04-12-2014). Paris, FRA : Institut de l'Élevage.

Luthar, S.S., Cicchetti, D., Becker, B. (2000). The construct of resilience: a critical evaluation and guidelines for future work. *Child Dev.*, 71, 543-562.

Manyena, S.B. (2006). The concept of resilience revisited. *Disasters*, 30, 434-450.

McCullagh, P., Nelder, J.A. (1989). *Generalized Linear Models*. 2ème édition. Chapman and Hall/CRC, 532 p. (Collection Monographs on Statistics and Applied Probability).

Miller, J.K., Brezezinska-Slebodzinska, E., Madson, F.C. (1993). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76, 9, 2812-2833.

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Arrêté du 9 juillet 2015 portant désignation des lauréats de l'appel à projets de développement agricole et rural d'innovation et de partenariat pour l'année 2015 [en ligne]. Disponible sur http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/arrete_laureats_aap_ip_2015_du_9_juillet_2015.pdf Consulté le 30.08.2016.

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. EcoAntibio 2017 | Alim'agri [en ligne]. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/eoantibio> Consulté le 07.07.2016.

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Programme Ambition Bio 2017 | Alim'agri [en ligne]. Disponible sur <http://agriculture.gouv.fr/ministere/programme-ambition-bio-2017> Consulté le 30.08.2016.

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt. Développement agricole et rural – CASDAR | Alim'agri [en ligne]. Disponible sur <http://agriculture.gouv.fr/developpement-agricole-et-rural-casdar> Consulté le 20.06.2016.

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt, (2016). L'agriculture biologique | Alim'agri. [en ligne]. Disponible sur <http://agriculture.gouv.fr/lagriculture-biologique-1> Consulté le 28.08.2016.

n.d. (2005). Santé et hygiène du troupeau laitier : dépenses de santé, trouver le juste équilibre. Information laitière, Rennes, 414, 4.

Nelder, J.A., Wedderburn, R.W.M. (1972). Generalized Linear Models. Journal of the Royal Statistical Society. 135 (3), 370-384 (Collection A (General)).

Nicourt, C., Benoit, M., Laignel, G., Cabaret, J. (2009). Approches sanitaires comparées d'éleveurs ovins allaitants biologiques et conventionnels. Innovations Agronomiques, 4, 49-60 [en ligne]. Disponible sur <http://prodinra.inra.fr/record/29477> Consulté le 30.08.2016.

Nicourt, C., Cabaret, J. (2011). Création de normes, innovation sanitaire et éthique des éleveurs ovins bio. Dans : Béguin, P., Dedieu, B., Sabourin, E. (2011). Le travail en agriculture : son organisation et ses valeurs face à l'innovation. L'Harmattan, Paris, 85-98.

Parlement Européen. Règlement (UE) 2016/429 du Parlement Européen et du Conseil du 9 mars 2016 relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale («législation sur la santé animale») [en ligne]. Journal Officiel de l'Union Européenne, n° L84 du 31 mars 2016. Disponible sur <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0429> Consulté le 22.07.2016.

Patout, O. (2014). La maîtrise des facteurs de risque ou comment maintenir un état d'équilibre. Alter Agri, juil.-août., 9-10.

Pearl, R. (1925). The Biology of Population Growth. Alfred A. Knopf, New York.

Poisson, S.-D. (1837). Recherches sur la probabilité des jugements en matière criminelle et en matière civile. Bachelier, Paris, 415 p.

Rupp, R., Boichard, D. (2001). Numérations cellulaires du lait et mammites cliniques : relations phénotypique et génétique chez les vaches Prim'Holstein. INRA Prod. Anim., 14 (3), 193-200.

Seegers, H., Bareille, N., Guatteo, R., Joly, A., Chauvin, A., Chartier, C., Nusinovici, S., Peroz, C., Roussel, P., Beaudeau, F., Ravinet, N., Relun, A., Taurel, A.-F., Fourichon, C. (2013). Epidémiologie et leviers pour la maîtrise de la santé des troupeaux bovins laitiers : approche monographique pour sept maladies majeures. INRA Prod. Anim., 26 (2), 157-176 [en ligne]. Disponible sur <http://prodinra.inra.fr/record/205574> Consulté le 01.09.2016.

Veissier, I., Botreau, R., Capdeville, J., Perny, P. (2007). L'évaluation en ferme du bien-être des animaux : objectifs, outils disponibles, utilisations, exemple du projet Welfare Quality®. Renc. Rech. Ruminants, 14, 277-284 [en ligne]. Disponible sur http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2007_07_comportement_01_Veissier.pdf Consulté le 31.08.2016.

Veissier, I., Botreau, R., Capdeville, J., Perny, P. (2010). Evaluation multicritère appliquée au bien-être des animaux en ferme ou à l'abattoir : difficultés et solutions du projet Welfare Quality®. INRA Prod. Anim., 23 (3), pp 269-284 [en ligne]. Disponible sur <http://prodinra.inra.fr/record/47192> Consulté le 01.09.2016.

Westman, W.E. (1978). Measuring the inertia and resilience of ecological systems. Bioscience, 28, 705-710.

Wu, G., Feder, A., Cohen, H., Kim, J.J., Calderon, S., Charney, D.S., et al. (2013). Understanding resilience. Front. Behav. Neurosci., 7, 1-15.

Annexes

Table des annexes

ANNEXE 1 : Analyse personnelle.....	V
ANNEXE 2 : Les indicateurs de l'équilibre sanitaire (Camara, 2015).....	XI
ANNEXE 3 : Représentation schématique de l'équilibre sanitaire (Grosmond, 2016).....	XII
ANNEXE 4 : Les équations logistiques en dynamique des populations	XIII
ANNEXE 5 : les lois de probabilité usuelles	XIV
ANNEXE 6 : Définitions du bien-être animal	XVII
ANNEXE 7 : Tableau d'évaluation du statut sanitaire d'un élevage bovin laitier	XVIII
ANNEXE 8 : Principales maladies des élevages bovins lait.....	XIX
ANNEXE 9 : Pathologies majeurs en élevages biologiques.....	XX
ANNEXE 10 : Impacts économiques de la santé.....	XXI
ANNEXE 11 : Les thèmes de recherche d'EpiA	XXII
ANNEXE 12 : Composition de l'équipe EpiA	XXIII
ANNEXE 13 : Les métaprogramme à l'INRA	XXIII
ANNEXE 14 : Les principales pathologies à Mirecourt.....	XXIV
ANNEXE 15 : Script qui permet de construire un vecteur contenant les vaches présentes sur la ferme par jour	XXVIII
ANNEXE 16 : Script qui permet de construire les vecteurs N et Y pour l'indicateur « locomoteur ».....	XXXIV
ANNEXE 17 : Script de modélisation de l'indicateur « locomoteur »	XLIII
ANNEXE 18 : Représenter la modélisation de l'indicateur « locomoteur » sur R.....	XLVIII
ANNEXE 19 : Résultats sur l'étude de l'équilibre sanitaire des génisses	L
ANNEXE 20 : Résultats sur l'étude de l'équilibre sanitaire des veaux.....	LIV
ANNEXE 21 : Tableau de présentation des périodes à risque de chaque pathologie observée sur Mirecourt.....	LXII
ANNEXE 22 : Un témoignage d'éleveur Bio qui nous parle d'équilibre sanitaire	LXVI
ANNEXE 23 : Schéma général de la démarche.....	LXVII
ANNEXE 24 : Evaluation du stage.....	LXVIII

Table des figures en annexes

Figure 16: L'équilibre de la santé - Gilles Grosmond, 2016	XII
Figure 17 : Facteurs de l'homéostasie – Gilles Grosmond, 2016.....	XII
Figure 18: Fréquence annuelle des principales maladies en élevage bovin lait (en % de vaches atteintes)	XIX
Figure 19 : Situation des objets de recherche d'EpiA en fonction de l'organisation de son projet de recherche	XXII
Figure 20: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les génisses du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	L
Figure 21: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Génisses.....	LII
Figure 22: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les veaux du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	LIV
Figure 23: Proportion des causes de mortalité des 38 veaux morts dans le troupeau de 2005 à 2015.....	LVI
Figure 24 : Evolution des causes de la mortalité des veaux entre 2005 et 2015	LVI
Figure 25: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Veaux.....	LX

Table des tableaux en annexes

Tableau 8: Importance des pathologies en élevage bovin laitier (principaux résultats de différentes études en % de vaches atteintes sur les vaches présentes dans les études)	XIX
Tableau 9: Problèmes de santé, du plus important (N°1) au moins important (N°3), dans les fermes biologiques évalués par déclarations d'éleveurs, de vulgarisateurs, de coopératives agricoles et de techniciens de l'agroalimentaire	XX
Tableau 10: Maladies rencontrées en élevage biologique en Europe (essentiellement du nord) d'après Thamsborg et al. 2004 Etudes objectives.....	XX
Tableau 11: Impact économique moyen par trouble de santé en exploitation bovin lait (en €/vache présente/an).....	XXI
Tableau 12: Pathologies des vaches enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	XXIV
Tableau 13: Pathologies des génisses enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	XXVI
Tableau 14: Pathologies des veaux enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015	XXVII

Tableau 15: Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des génisses.....	L
Tableau 16: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des génisses.....	LII
Tableau 17 : Résumé du nombre de veaux nés, du nombre de veaux morts et du taux de mortalité annuel entre 2005 et 2015	LIV
Tableau 18 : Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des veaux	LVI
Tableau 19: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des veaux	LVIII

ANNEXE 1 : Analyse personnelle

En arrivant à EpiA en février 2016, j'avais en tête de peut-être poursuivre mes études par une thèse de doctorat. J'ai alors eu l'idée d'articuler mes stages de RI et de MFE pour me permettre de réfléchir à la question. Ainsi, dès février j'ai entamé les démarches pour réaliser un deuxième stage de six mois dans le cadre d'OTOVEIL, cette fois dans l'action 1 avec un volet sociologique fort. De plus, au cours de mon stage, on m'a confirmé une offre de CDD en 2017 pour participer à la suite de l'action 2. Ce projet CASDAR est donc l'opportunité de passer deux ans à travailler sur un même projet et de participer à son évolution. C'est donc le moment rêvé de comprendre le monde de la recherche et de me demander si je me sens prête à faire une thèse, et pour quoi.

Il me reste encore du chemin à parcourir dans ma réflexion, mais après six mois de stage à l'INRA ARA, j'ai déjà pu me rendre compte de certaines choses. Tout d'abord, si je me lance dans une thèse, il faudra que je sois passionnée par mon sujet. Certes, la thèse permet de prendre le temps de décortiquer un sujet et d'explorer un problème dans ses moindres détails, chose que l'on a rarement le temps de faire par la suite, d'après les échanges que j'ai pu avoir avec des chercheurs de l'INRA. Cependant, trois ans c'est long... et faire une thèse c'est très prenant... Donc une motivation irréductible est une arme indispensable du thésard. Cela est d'autant plus vrai que l'on fait une thèse pour soi avant tout. Comme dans toute chose, il y a des hauts et des bas, des tâches que l'on aime faire et d'autres dont on se passerait plutôt. Mais lorsqu'on a des objectifs clairs et une motivation sans faille, on arrive toujours à surmonter les difficultés et à venir à bout des moments pénibles. C'est un peu différent pour les chercheurs et les personnes qui participent à des projets de recherche car ils travaillent presque toujours sur plusieurs projets en même temps et peuvent avoir des rôles et des degrés d'implication très variés d'un projet à l'autre.

Cela m'amène à la deuxième qualité d'un bon chercheur (et d'un bon doctorant) : l'organisation. Que l'on soit thésard, ingénieur d'étude ou directeur de recherche, il faut être très organisé pour pouvoir mener à bien sa thèse dans un cas, ou gérer plusieurs projets en même temps dans un autre. D'autant plus que dans une thèse comme dans un projet de recherche, il faut respecter de nombreuses échéances (soumission d'articles, rendus de résultats, comités de relecture, etc.). Cela est d'autant plus vrai aujourd'hui que les rallonges de financement sont rares et que les budgets sont de plus en plus serrés.

Le 18 mai 2016, le gouvernement annonçait des coupes budgétaires de 256 millions d'euros dans les crédits alloués à l'enseignement supérieur et à la recherche. Les organismes de recherche du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives), de l'INRA et de l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) se voyaient ainsi imputés de 134 millions d'euros. Cependant, six jours plus tard, l'Assemblée Nationale a finalement décidé de rejeter le projet de la Commission des Finances (Le Monde, 25 mai 2016 ; Assemblée Nationale, 24 mai 2016) grâce à la mobilisation de chercheurs primés (tribune parue dans Le Monde, le 23 mai 2016). Malgré tout, la recherche de financements demeure le nerf de la guerre de la recherche publique.

Ensuite, lorsqu'on travaille dans le milieu de la recherche, la créativité est un atout. La recherche et l'innovation sont deux milieux très proches et dans l'un comme dans l'autre il est important de se démarquer et de savoir sortir des sentiers battus, bien qu'il y ait certaines normes à respecter et certaines références à ne pas ignorer. Avec la créativité va la capacité d'entreprendre. En effet, en recherche, il est crucial de pouvoir mettre en action ses idées et donc de se donner les moyens de ses ambitions. Cela peut regrouper différentes compétences comme des savoirs faire en gestion de projet, en recherche de financements ou en management d'équipe. J'ai d'ailleurs remarqué que plus les agents INRA montent en grade, plus ces compétences sont sollicitées, jusqu'à représenter la majeure partie des activités d'un directeur de recherche.

Pour être un bon chercheur, il faut être ouvert à la critique et savoir se confronter à ses pairs et au public. En effet, les chercheurs me semblent être des personnes très indépendantes dans leur manière de travailler au quotidien, et qui apprécient une certaine liberté dans leurs activités. Cela peut aller d'une certaine souplesse dans les horaires de travail au choix de travailler avec certains partenaires ou sur certains projets. Les communications sur leurs activités en interne comme en externe (lors de colloques ou de publications) sont donc des moments privilégiés et très importants pour la communauté scientifique afin de partager l'information et de faire avancer la recherche. Enrichir sa réflexion en la confrontant à des points de vue extérieurs ne peut être que bénéfique. Cela permet souvent de clarifier ses idées, de se rendre compte de ses erreurs ou de points d'incertitude, et d'aider à trancher certaines questions. Ainsi, s'il faut savoir être très autonome dans ce type de métiers, il faut également

pouvoir interagir et échanger avec les autres (ses pairs et plus largement le public, dans le cadre d'une vulgarisation scientifique par exemple).

Cela introduit mon dernier point : en recherche peut-être plus qu'ailleurs, il me semble important d'être rigoureux et exigeant dans ses communications. En effet, les compétences en communications me semblent les grandes oubliées de la recherche. Le plus souvent par écrit, ces communications se doivent pourtant d'être claires, précises et rigoureuses pour ne pas porter préjudice au message scientifique. D'autant plus lorsqu'il s'agit de publications et de mises en place de systèmes d'expérimentation (qui devrait normalement pouvoir être reproductibles d'après le descriptif fourni dans l'article ou en annexe). De même, il ne faut pas négliger la prise de parole en public, compétence qui me paraît parfois négligée.

Cependant, avoir des qualités et des compétences adéquates ne suffisent pas. Il faut également avoir envie de travailler dans un certain cadre et une équipe, et de pouvoir composer avec les aléas du métier et de la conjoncture de l'emploi.

En effet, de nos jours, bien que les unités de recherche soient souvent pluridisciplinaires, que les projets soient de plus en plus multi-acteurs et que les projets participatifs soient davantage valorisés, je trouve que la recherche demeure un milieu assez individualiste dans le sens où le travail réalisé est bien souvent une somme de petits travaux individuels plutôt qu'un réel travail d'équipe. De plus, le côté « participatif » me semble réduit au fait d'enquêter certains acteurs, comme les éleveurs, de leur demander de s'exprimer sur un sujet ou de les inviter à la restitution. Mais j'ai, jusqu'à présent, rarement eu part de projets de recherche qui font participer des acteurs du terrain de la conception d'un projet à la valorisation de ses résultats. En ce sens, les projets CASDAR se distinguent des autres formes de projet.

J'ai également eu des difficultés à trouver une vraie dynamique de groupe dans l'unité EpiA et à comprendre comment s'articulent l'équipe pluridisciplinaire avec les projets et les questions de recherche propres à l'unité (qui travaille avec qui, sur quoi, et pour répondre à quoi). En ce sens, je pense apprécier davantage de travailler dans des petites structures qui valorisent la collaboration entre agents, où la dynamique de groupe peut être plus forte et la stratégie d'entreprise plus claire.

Par ailleurs, j'ai remarqué que certains agents, selon leur statut et leurs fonctions, étaient soumis à une forte pression, et particulièrement vis-à-vis de la recherche de financements et de l'encadrement de la recherche, en sus de la pression pour obtenir des résultats et publier.

En effet, les unités sont limitées par le nombre de leurs agents ayant une HDR (Habilitation à Diriger des Recherches) et par la composition de leur équipe, en ingénieurs de recherche, chargés de recherche et directeurs de recherche. Cela pose problème notamment pour encadrer des thésards mais aussi pour répondre à des appels à projet et pour rechercher des financements. De plus, les statuts plus élevés s'accompagnant de davantage de responsabilités et de tâches managériales (et donc moins de temps accordé aux travaux de recherche), certains agents ne sont pas incités à monter dans la « hiérarchie ». La pression se reporte donc vers quelques agents, parfois minoritaires au sein d'une équipe. De plus, les unités ressentent également cette pression sur le collectif car les évaluations, notamment par l'HCERES¹⁰, sont plus rapprochées et aussi plus exigeantes, incitant les unités à travailler leur « visibilité » et à publier dans les « meilleures » revues.

Cette pression transparaît également dans la course au financement qui se joue dans les appels à projet. La compétition étant très élevée et le taux de réussite relativement faible, les organismes sont incités à rédiger des projets de plus en plus ambitieux. Pour les projets qui arrivent à se faire financer, les objectifs sont alors très souvent impossibles à atteindre à cent pour cent et la coordination de ces gros projets devient un travail complexe et titanesque. Cela me semble d'autant plus préjudiciable que les maîtres d'œuvre de ces projets sont souvent des doctorants, des post-doctorants, des CDD, et aussi pour beaucoup des stagiaires.

En ce sens, les projets CASDAR ouvrent l'opportunité aux unités INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de diversifier leurs réponses aux appels d'offre et leurs sources de financement. Cela est d'ailleurs rendu possible par l'ouverture de l'INRA à la recherche appliquée et à l'importance que cette institution accorde au développement et à la recherche participative. Les projets CASDAR sont des projets participatifs et multi-acteurs qui ont un enjeu de développement d'autant plus important que ce sont les taxes prélevées sur les exploitations agricoles qui les financent. Cependant les appels d'offre y sont pratiquement aussi compétitifs qu'à l'ANR (Agence Nationale de la Recherche), avec un taux d'acceptation oscillant entre 10% et 20% seulement (10% pour l'ANR).

Par ailleurs, mon expérience à l'INRA m'a aussi appris à démystifier la recherche publique, que je croyais pure et parfaite. Par exemple, une assemblée générale du centre INRA ARA sur la déontologie présentait des constats assez alarmants sur la manipulation des données (comme la suppression des outliers) et le manque de reproductibilité des expérimentations.

¹⁰ HCERES : Haut Conseil de l'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

En outre, dans de grandes institutions comme l'INRA, le poids de l'administration pèse sur ses agents. En effet, ayant presque toujours travaillé dans des petites structures associatives, j'ai trouvé les démarches à l'INRA longues et assez lourdes, que ce soit pour monter mon dossier de stage, faire un ordre de mission ou demander une collation pour une réunion. Par contre l'encadrement des stagiaires y est très appréciable. En effet, mes encadrants INRA se sont beaucoup investis dans mon suivi et mon travail, attention que j'ai rarement reçue dans mes expériences précédentes. Et le fait de travailler dans une grande institution permet aussi d'être mieux pris en charge, notamment lors des déplacements de missions (frais de transports, d'hébergement et de repas pris en charge, etc.)

Ensuite, il y a parfois un manque de communication, qui peut mener à des tensions, entre différents acteurs de la recherche. Au sein de l'INRA, j'ai pu parfois remarquer des tensions entre des techniciens qui travaillent sur les domaines expérimentaux (comme les animaliers) et certains chercheurs responsables de ces domaines. Les premiers jugeant les chercheurs « déconnectés » des réalités du terrain car ils demandaient, selon eux, des choses impossibles ou bien des conditions d'élevage indécentes pour les animaux, et les seconds trouvant les techniciens têtus (refusant parfois de suivre les protocoles expérimentaux) et pas assez rigoureux. J'ai également perçu certaines rivalités entre des unités « concurrentes » qui travaillent sur les mêmes thématiques alors qu'elles appartiennent à la même institution.

Enfin, il faut être conscient que devenir titulaire dans la recherche publique aujourd'hui n'est pas une mince affaire. En effet, les débouchés sont très peu nombreux sur concours externes. D'autant plus que les mouvements internes sont prioritaires et de plus en plus importants, et que les créations de postes sont devenues très rares. Les directeurs d'unité sont ainsi appelés à exprimer leurs « besoins » en termes de compétences qui sont d'abord recherchés au sein du personnel de l'INRA. En parallèle, certains domaines expérimentaux et unités de l'INRA sont fermés ou restructurés, et certaines unités se retrouvent ainsi éclatées ou bien rattachées à d'autres. Si les offres de thèses, de post-doc et de CDD sont relativement abondantes, les chances d'obtenir un poste de titulaire à l'INRA demeurent très faibles.

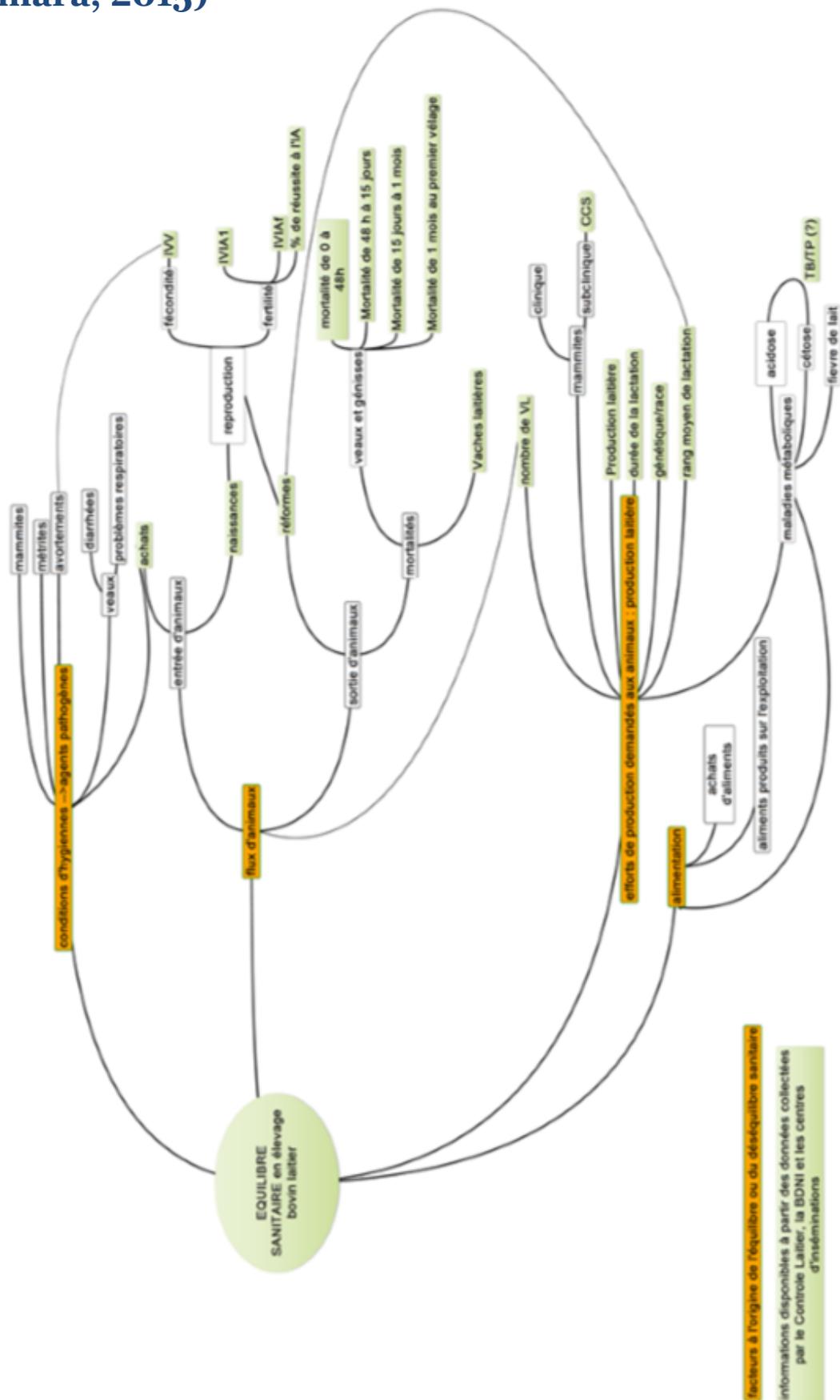
Ainsi, après six mois passés à l'INRA, je ne me sens pas tout à fait prête à me lancer dans la recherche. J'ai pris beaucoup de plaisir tout au long de cette expérience, et j'ai apprécié la richesse des enseignements que j'en ai tirés, notamment en analyse de données et en gestion de projet. J'ai également beaucoup apprécié la rigueur et la bienveillance de mon encadrement, ce que j'ai rarement rencontré en stage par ailleurs. Je suis aussi reconnaissante

de l'autonomie et de la confiance que l'on m'a accordées. Cependant, et bien que je crois en avoir les moyens et l'envie, je ne pense pas pouvoir réaliser une thèse à l'INRA tout de suite.

Tout d'abord parce que le terrain me manque et que je pense avoir besoin de travailler au contact des éleveurs, du moins dans un premier temps. Cela me semble d'autant plus pertinent que beaucoup de chercheurs ont passé une thèse tout de suite après leur master. Depuis, n'ayant parfois jamais travaillé en dehors d'instituts de recherche, ces derniers peuvent se retrouver, pour certains d'entre eux, un peu déconnectés du monde économique sur et pour lequel ils travaillent. Cette perte de repères me préoccupe beaucoup, aussi, je préfère prendre le temps de bien connaître le monde agricole avant de me mettre à la recherche.

Enfin, alors que j'ai été attirée par le secteur agricole pour ses grands espaces et l'opportunité de travailler en extérieur, je me suis retrouvée pendant six mois à passer mes journées dans un bureau, assise devant un ordinateur, à lire et à analyser des données. Six mois, il n'en fallait pas plus. Même si les chercheurs ne sont pas (tous) ces grands pontes que l'on imagine (le plus souvent à tort quand même) perchés dans leur tour d'ivoire à ériger de nouveaux théorèmes et penser de nouveaux paradigmes, ils ne sont pas non plus aux pieds des vaches. De plus, je trouve aussi que la recherche n'appartient pas qu'aux chercheurs. Il existe beaucoup d'autres manières de participer à la recherche et au développement, notamment en travaillant sur des structures plus orientées vers la recherche appliquée et plus en lien avec le monde économique, comme les instituts techniques, ou en s'investissant dans le conseil et l'accompagnement des agriculteurs. Trouver des solutions à des problèmes locaux, c'est aussi participer à la résolution de questions plus globales. En ce sens, le type de projet « Recherche-Action » comme le CASDAR me semble être un bon dispositif pour pouvoir assurer une forme de recherche participative et ainsi prendre part au développement agricole et rural. A l'issue de mon expérience dans OTOVEIL, je pense donc retourner au pré, auprès des éleveurs et des agents du développement, pour comprendre davantage ce qui s'y joue, avant de me mettre à « *Chercher* » ... (mais chercher quoi ? comment ? pour quoi faire ? et pour répondre aux problèmes de qui ?) peut-être... un jour....

ANNEXE 2 : Les indicateurs de l'équilibre sanitaire (Camara, 2015)



ANNEXE 3 : Représentation schématique de l'équilibre sanitaire (Grosmond, 2016)

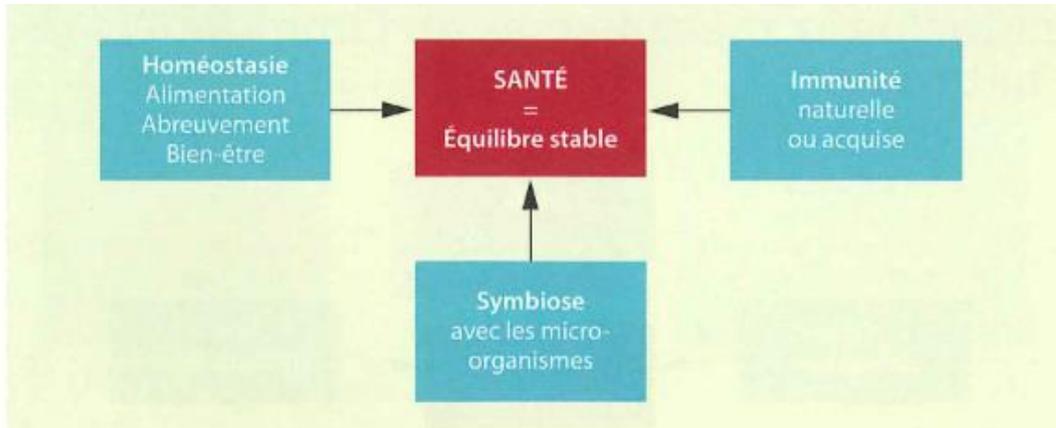


Figure 16: L'équilibre de la santé - Gilles Grosmond, 2016

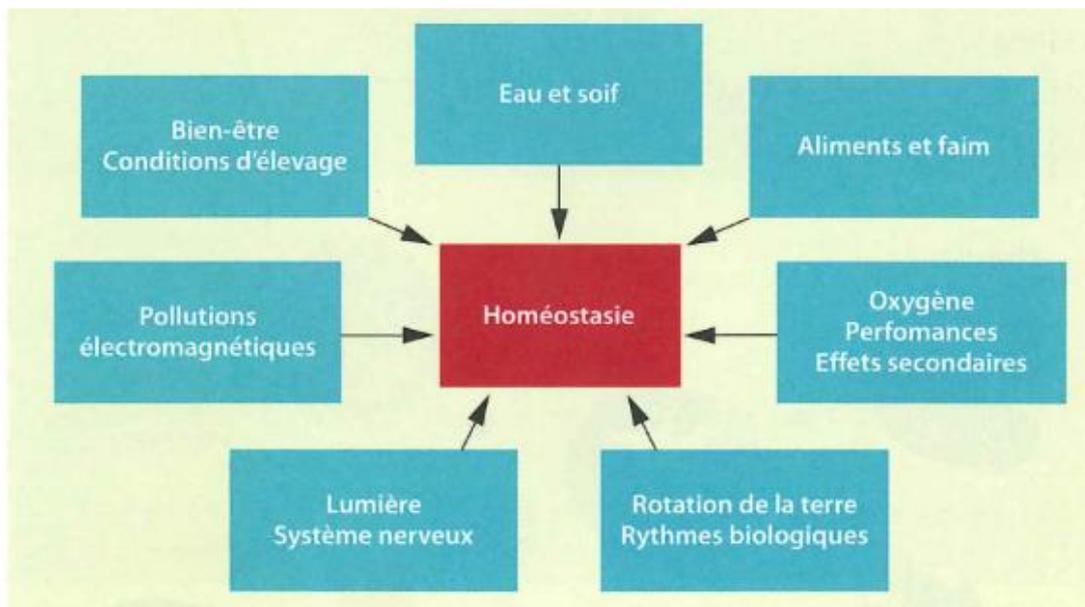


Figure 17 : Facteurs de l'homéostasie – Gilles Grosmond, 2016

ANNEXE 4 : Les équations logistiques en dynamique des populations

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

(équation logistique, forme écologique de Lotka, 1925)

Avec :

- N : la taille de la population
- t : le temps
- r : taux intrinsèque d'accroissement
- K : capacité biotique du milieu

$$N_{t1} = N_{t0} + B - D + I - E$$

(équation de base en écologie des populations, Verhulst, 1837)

Avec :

- N_{t1} = taille de la population à un instant t1
- N_{t0} = taille de la population à un instant t0
- B = natalité
- D = mortalité
- I = immigration
- E = émigration

ANNEXE 5 : les lois de probabilité usuelles

Loi binomiale : $\mathcal{B}(n, p)$

- n : nombre d'expériences réalisées (taille de la population à risque)
- p : probabilité d'un succès avec $0 < p < 1$
- q : la probabilité d'un échec avec $q = 1 - p$
- Variance : $\text{var}(Y) = n * p * q = E(Y) \times \left[1 - \frac{E(Y)}{n}\right]$
- Espérance : $E(Y) = n * p$
- $E(Y) > \text{var}(Y)$
- Loi de distribution : $\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^i q^{n-i}$

Loi de Poisson : $\mathcal{P}(\lambda)$

- Lambda : $\lambda = n * p$
- p : probabilité d'occurrence avec $0 < p < 0,15$
- n : taille de la population ou limite maximale de l'intervalle de temps avec $0 < n < \infty$
(en pratique plusieurs dizaines)
- Variance : $\text{var}(Y) = \lambda$
- Espérance : $E(Y) = \lambda$ d'où $E(Y) = \text{var}(Y)$
- Loi de distribution : $\sum_{i=1}^n \lambda^i \exp\left(\frac{-\lambda}{i!}\right)$

Loi binomiale négative : $\mathcal{BN}(n, p, \gamma)$

- n : nombre d'expériences réalisées (taille de la population à risque) avec $0 < n < \infty$
(en pratique plusieurs dizaines)
- p : probabilité d'un succès avec $0 < p < 1$
- q : la probabilité d'un échec avec $q = 1 - p$
- Variance : $\text{var}(Y) = n \left(\frac{q}{p^2}\right) = E(Y) \times \left[1 + \frac{E(Y)}{\gamma}\right]$
- Espérance : $E(Y) = n \left(\frac{q}{p}\right)$
- $E(Y) < \text{var}(Y)$
- Loi de distribution : $\sum_{i=0}^{\gamma} \binom{n+\gamma-1}{n-1} p^n q^i$ avec γ : quantile, $0 < \gamma < \infty$

La loi binomiale

La loi binomiale est une loi de probabilité discrète. Elle est classiquement utilisée pour estimer la probabilité d'un évènement à deux issues possibles, mesurées en termes de succès et d'échec. La loi binomiale modélise le nombre de succès obtenus lors de la répétition indépendante de plusieurs expériences aléatoires identiques. Dans le cadre de notre étude, le succès serait ainsi associé à l'occurrence d'un cas pathologique, et l'échec à une absence d'occurrence de cas pathologique, soit l'issue « l'animal est sain ». La loi binomiale modélise donc, dans cet exemple, la distribution des occurrences d'une pathologie donnée dans une population donnée. La loi binomiale est caractérisée par deux paramètres : n , le nombre d'expériences réalisées, qui correspond ici à la taille de la population à risque pour l'indicateur étudié, et p , la probabilité de succès, appelé ici occurrence d'un cas pathologique. De plus, elle est caractérisée par une espérance et une variance par pas de temps (voir encadré ci-avant) (Forbes et al., 2011).

La loi de Poisson

La loi de Poisson est une généralisation de la loi binomiale pour modéliser des phénomènes rares. En effet, la loi de Poisson est une approximation de la loi binomiale quand n tend vers l'infini et la probabilité p tend vers 0 (en pratique $p < 0,1$). Cette loi de probabilité discrète décrit le comportement d'un nombre d'évènements se produisant dans un intervalle de temps fixé. Introduite en 1837 par Siméon-Denis Poisson (1781-1840), la loi de Poisson a été appliquée sur certaines variables aléatoires qui dénombrent le nombre d'occurrences (aussi appelées « arrivées ») qui ont lieu pendant un laps de temps donné. La loi de Poisson modélise donc, dans notre exemple, le nombre d'occurrences d'une pathologie donnée par unité de temps, dans un temps d'étude fixé a priori. Cette loi est caractérisée par un paramètre noté λ (voir encadré ci-avant).

La loi binomiale négative

La loi binomiale négative est également une loi de probabilité discrète. Elle peut être vue comme une loi réciproque de la loi binomiale. Elle s'utilise dans le cas où on observe une surdispersion sur les valeurs observées (où la variance est donc supérieure à l'espérance). Dans le cadre de cette loi, l'expérience consiste en une série de tirages indépendants, dont la probabilité d'un succès est p et la probabilité d'un échec est q . L'expérience se poursuit jusqu'à un nombre donné n de succès. La loi binomiale négative modélise ainsi la probabilité

q d'échecs. Cette loi nous permettrait alors de modéliser le nombre d'animaux sains obtenus avant d'observer un animal malade. Les paramètres sont les mêmes que dans le cadre de la loi binomiale, avec en plus un paramètre γ de sur-dispersion (voir encadré ci-avant).

ANNEXE 6 : Définitions du bien-être animal

Comment définir le bien-être animal ?

Le bien-être animal est une notion complexe dont la définition ne fait pas l'unanimité (Duncan, 2005). Le bien-être animal peut-être défini comme l'intégrité physique, psychologique (Hugues, 1996) et comme la capacité des animaux à exprimer leurs comportements naturels (Broom, 1986). Certains se focalisent davantage sur l'être sentient et définissent ainsi le bien-être des animaux comme leur capacité à ressentir des émotions et des sentiments positifs (Dawkins, 2006).

Une autre définition du bien-être animal se base sur les cinq libertés définies par la FAWC en 1992 : celles de ne pas souffrir de faim ni de soif, de ne pas souffrir d'inconfort, de ne pas souffrir de douleurs, de blessures ni de maladies, de ne pas éprouver de peur ni de détresse, et enfin de pouvoir exprimer des comportements naturels propres à l'espèce.

ANNEXE 7 : Tableau d'évaluation du statut sanitaire d'un élevage bovin laitier

Etat sanitaire	Bon	Moyen	Mauvais
	Seuil 1	Seuil 2	Seuil 3
Infections intra-mammaires			
Mammite sévère*	3,1%	5,7%	9,2%
Mammite non sévère*	20,2%	33,0%	49,6%
Total mammite clinique*	24,0%	40,2%	57,7%
%CCI > 200 000 cellules/ml*	21,0%	26,6%	31,9%
Troubles métaboliques			
Fièvre de lait**	3,0%	4,9%	7,7%
Cétose clinique**	0,0%	1,2%	2,6%
Déplacement de caillette**	0,0%	0,0%	1,5%
Troubles digestifs*	1,3%	3,3%	5,4%
Troubles du vêlage			
Vêlage difficile**	2,2%	5,2%	9,7%
Rétention placentaire**	4,7%	8,1%	11,7%
Métrite aiguë**	0,0%	1,0%	2,9%
Troubles de la reproduction			
Métrite chronique**	0,0%	1,9%	6,4%
% IA > 90 jours	18,4%	25,4%	33,9%
% retour après IA	45,4%	50,4%	56,6%
Avortement précoce*	0,0%	0,0%	1,4%
Avortement tardif**	1,0%	1,8%	3,1%
Boiteries*	3,9%	7,6%	14,9%
Troubles respiratoires*	0,0%	0,0%	1,2%

* Calcul : (nombre de cas sur un an/nombre moyen de vaches laitières présentes sur l'exploitation durant l'année) x 100

** Calcul : (nombre de cas/nombre de vêlages) x 100

D'après l'ENV de Nantes, extrait de Croisier M. et Y., 2011.

ANNEXE 8 : Principales maladies des élevages bovins lait

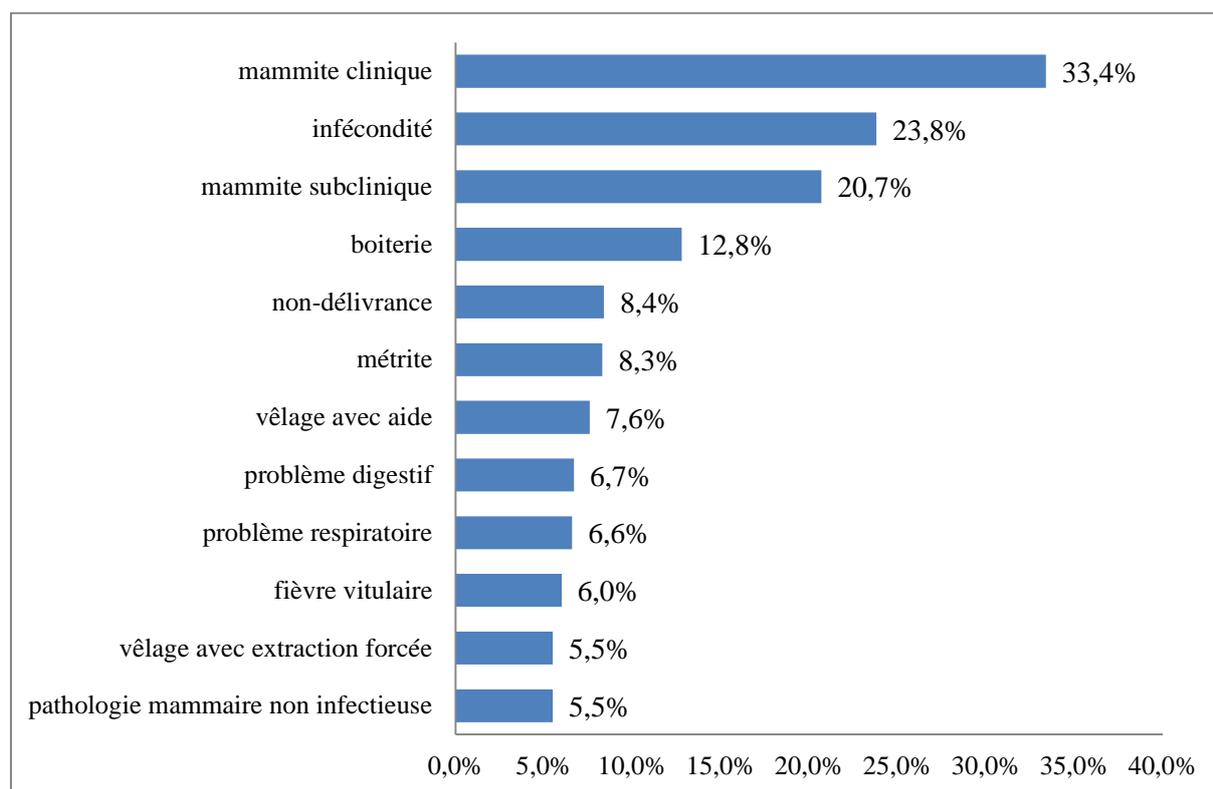


Figure 18: Fréquence annuelle des principales maladies en élevage bovin lait (en % de vaches atteintes)

D'après les résultats d'une enquête menée par le centre d'écopathologie animale dans les années 1990, sur 3 ans concernant plus de 1700 vaches, extrait de Croisier M. et Y., 2011.

Tableau 8: Importance des pathologies en élevage bovin laitier (principaux résultats de différentes études en % de vaches atteintes sur les vaches présentes dans les études)

	Compilation d'enquêtes en France (1)	Centre d'écopathologie (2)	INRA
Année	1979-1980	1994	1994
Mammmites cliniques	18,8	28,4	31,7
Boiteries	11,4	9,6	25,6
Infécondité (4)		15,2	
Rétention placentaire	10	5,0	9,6
Métrites	8	5,2	
Troubles digestifs	7,4		12,3

Extrait de Croisier M. et Y., 2011. (1) Metge J. et al., 1990, (2) Centre d'écopathologie animale, Villeurbanne, enquête en Rhône-Alpes (3) Faye et al., 1994, (4) Echec à l'insémination.

ANNEXE 9 : Pathologies majeurs en élevages biologiques

Tableau 9: Problèmes de santé, du plus important (N°1) au moins important (N°3), dans les fermes biologiques évalués par déclarations d'éleveurs, de vulgarisateurs, de coopératives agricoles et de techniciens de l'agroalimentaire

Production	N°1	N°2	N°3
Ruminants	Gestion des parasites (ovins, caprins et jeunes bovins) Avec un recours faible aux antiparasitaires	Prévention, traitement des mammites sans antibiotique	Gestion de la reproduction chez les petits ruminants, sans utilisation d'induction hormonale de synthèse

D'après Bonin, 1997, et extrait de Cabaret et Nicourt, 2009.

Tableau 10: Maladies rencontrées en élevage biologique en Europe (essentiellement du nord) d'après Thamsborg et al. 2004 Etudes objectives

Productions	Catégories de maladies				
	Mammites	Maladies liées à la reproduction	Maladies métaboliques	Boiteries	Maladies parasitaires
Bovins	Durant la lactation : équivalent en AB et conventionnel (CH, S, DK, SF, UK, NL, N) Durant le tarissement : équivalent (DK) ou plus élevé (UK)	Rares études, performances moindres (N) mais durée de vie reproductive plus longue en AB (CH, D, DK, N)	Moins de cétose et d'hypocalcémies en AB (N, DK, UK, D)	Plus importantes en AB (CH) ou équivalentes (DK)	Coccidioses et diarrhées associées chez les veaux importantes en AB (DK, S) Strongles digestives et diarrhées plus marquées en élevage AB chez les bovins de première saison de pâturage (S, DK) Stronglyoses respiratoires encore un problème en AB (S)

Extrait de Cabaret et Nicourt, 2009

ANNEXE 10 : Impacts économiques de la santé

Tableau 11: Impact économique moyen par trouble de santé en exploitation bovin lait (en €/vache présente/an)

	Pertes sur la vente des produits (quantité et qualité)	Coût de maîtrise du problème	Total	Part du trouble dans l'ensemble des problèmes sanitaires
Troubles des veaux (jusqu'à 15j)	15€	9€	24€	10%
Troubles des génisses (de 15 j au vêlage)	Non estimé	8,5€	8,5€	4%
Troubles des vaches laitières	> 133€	> 65€	≈200€	86%
Mammites	52€	26€	78€	34%
Troubles de la reproduction	31€	9€	40€	17%
Troubles métaboliques et digestifs	19€	13€	32€	14%
Troubles du péripartum	22€	5€	27€	12%
Troubles locomoteurs	9€	2€	11€	5%
Troubles respiratoires	0,3€	0,3€	0,6€	0,3%
Maîtrise du parasitisme	Non estimé	3€	3€	1,5%
Autres troubles (non répartis)	Non estimé	7€	7€	3%

D'après l'ENV de Nantes, sur environ 200 troupeaux, extrait de Croisier M. et Y., 2011.

ANNEXE 11 : Les thèmes de recherche d'EpiA

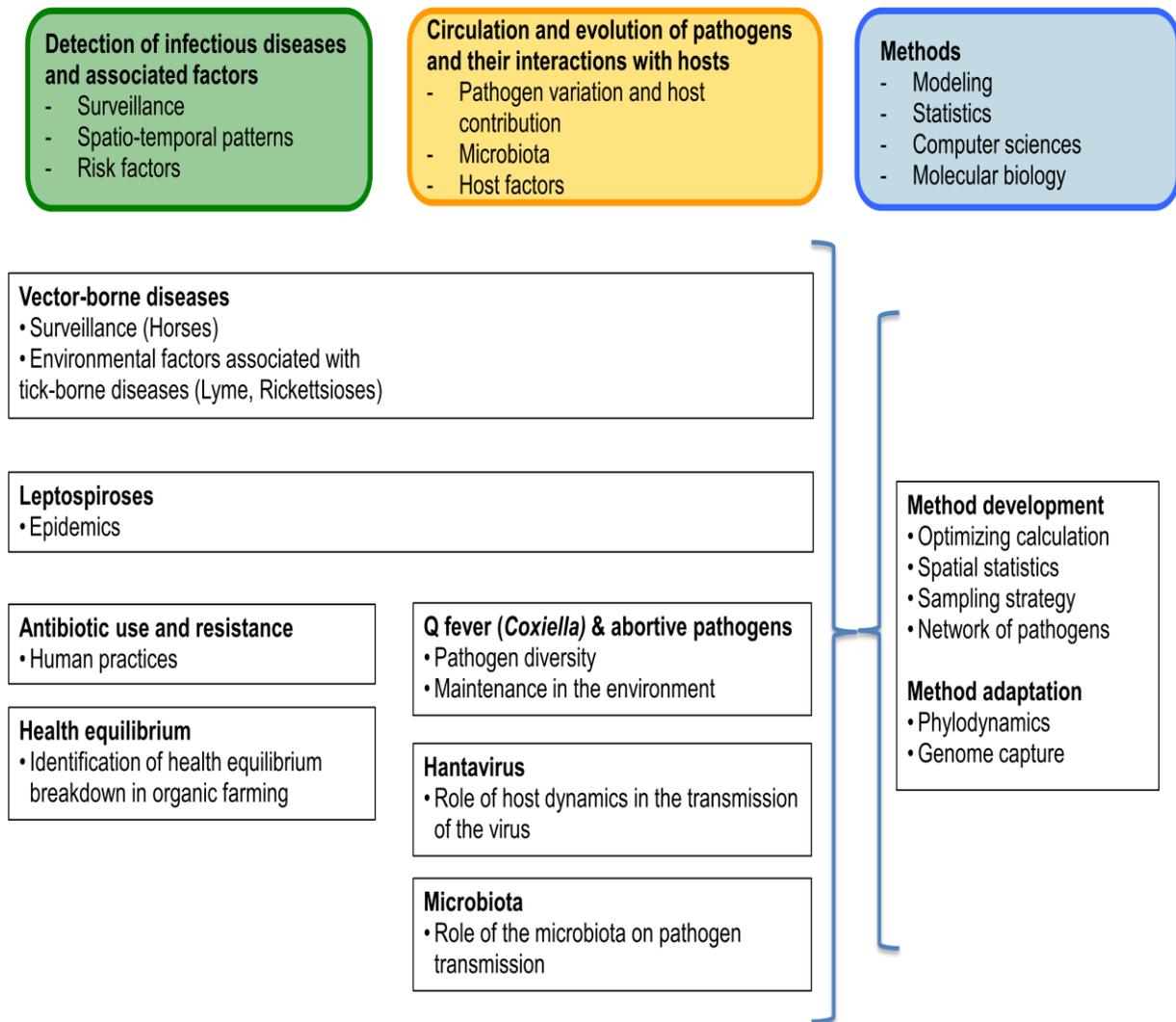


Figure 19 : Situation des objets de recherche d'EpiA en fonction de l'organisation de son projet de recherche

ANNEXE 12 : Composition de l'équipe EpiA

L'équipe EpiA, dirigée par Gwenaël VOURC'H (directrice adjointe : Karine CHALVET-MONFRAY), est composée de 2 directeurs de recherche, 2 chargées de recherche, 1 maître de conférences, 3 professeurs de grandes écoles, 3 ingénieurs de recherche, 4 ingénieurs d'études, 3 assistants ingénieurs, 4 techniciens de recherche, 1 post-doctorante et de 8 doctorants. Elle regroupe de nombreuses compétences en épidémiologie, modélisation, statistiques, dynamique des populations, informatique, information géographique, écologie, biologie évolutive, génomique et biologie moléculaire.

ANNEXE 13 : Les métaprogramme à l'INRA

Qu'est-ce qu'un métaprogramme à l'INRA ?

Les métaprogrammes sont des programmes de recherche INRA destinés à favoriser les approches intégrées et transdisciplinaires. Ils permettent de répondre à des questions de recherche que se posent les chercheurs INRA et qui répondent aux grandes thématiques de travail de l'institut. De plus, ils représentent une source de financement interne importante. Le métaprogramme GISA souhaite promouvoir une recherche pour l'action, dans une perspective d'innovations et de services aux productions animales et à leurs filières (INRA, n.d.).

ANNEXE 14 : Les principales pathologies à Mirecourt

Tableau 12: Pathologies des vaches enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Famille de pathologies	Nom de la pathologie	Nombre de cas	Totaux
Mamelle	Tarissement	332	425
	Mammite	36	
	Mammite subclinique - Cellules	26	
	Blessure mamelle, oedème mammaire	19	
	Hémolactation (sang dans le lait)	6	
	Rétention laitière	5	
	Trayon obstrué	1	
Appareil locomoteur	Boiterie (mal aux pieds)	201	371
	Panaris	55	
	Entorse	30	
	Limace	25	
	Ulcère typique (cerise)	27	
	Boiterie (accident)	13	
	Lymphangite (inflammation des jarrets)	4	
	Accident	4	
	Distention ou déchirure de ligaments	4	
	Fourbure	3	
	Décollement de la ligne blanche	3	
	Fracture	2	
Appareil reproducteur	Aide aux chaleurs	176	331
	Métrite	39	
	Non délivrance (rétention placentaire)	37	
	PGF2	20	
	Vaginite	20	
	Déchirure au moment du vêlage	15	
	Pose Kamar	11	
	Avortement	8	
	Kyste ovarien	4	
	Œdème de la vulve	1	
Appareil respiratoire	Grippe	63	69
	Bronchite (coup de froid)	3	
	Pneumonie	2	
	Pleurésie	1	
Cutané	Déparasitage externe (poux, darts, ...)	31	43
	Verrues	5	
	Abcès	4	
	Hématome (coup)	2	
	Plaie ouverte (suite à blessure)	1	

Appareil digestif	Corps étranger	21	33
	Indigestion	7	
	Météorisation	2	
	Occlusion intestinale	1	
	Coliques	1	
	Langue de bois	1	
Intervention humaine	Fouilles appareil génital	19	32
	Soins au vêlage	7	
	Euthanasie	2	
	Soins après césarienne	2	
	Ablation ou perte de cornes (accident)	1	
	Césarienne	1	
Occulaire	Kératite	24	24
Métabolique	Fièvre vitulaire	13	14
	Acidose	1	
Etat général	Mauvais état général (maigre), vitamines	5	7
	Tonus	1	
	vitamines	1	
Système nerveux	Encéphalite	1	2
	Méningite (troubles nerveux)	1	
TOTAL		1351	1351
TOTAL moins intervention humaine		1319	1319

Tableau 13: Pathologies des génisses enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Famille de pathologies	Nom de la pathologie	Nombre de cas	Totaux
Appareil respiratoire	Bronchite (coup de froid)	48	147
	Strongles pulmonaires	42	
	Bronchite vermineuse	42	
	Grippe	14	
	Pneumonie	1	
Cutané	Dartres (teigne)	73	121
	Verrues	33	
	Déparasitage externe (poux, dartres, ...)	13	
	Abcès	2	
Appareil digestif	Strongles	38	103
	Coccidies	32	
	Entérite diarrhéique	17	
	Diarrhée septicémique (déshydratation)	8	
	Corps étranger	3	
	Indigestion	3	
	Météorisation	1	
	Diarrhée parasitaire	1	
Occulaire	Kératite	63	63
Appareil locomoteur	Boiterie (mal aux pieds)	11	38
	Panaris	8	
	Boiterie (accident)	7	
	Entorse	2	
	Limace	2	
	Lymphangite (inflammation des jarrets)	2	
	Accident	2	
	Distention ou déchirure de ligaments	2	
	Fourbure	2	
Appareil reproducteur	Aide aux chaleurs	4	7
	Métrite	2	
	PGF2	1	
Etat général	Mauvais état général (maigre), vitamines	5	5
Intervention humaine	Ecornage	3	3
Autres	FCO maladie de la langue bleue	1	1
	TOTAL	488	488
	TOTAL moins intervention humaine	485	485

Tableau 14: Pathologies des veaux enregistrées sur le SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Famille de pathologie	Nom Pathologie	Nombre de cas	Totaux
Troubles de l'appareil digestif	Diarrhée septicémique (déshydratation)	116	146
	Entérite diarrhéique	13	
	Indigestion	8	
	Coccidies	3	
	Strongles	2	
	Intoxication alimentaire	2	
	Occlusion intestinale	1	
	Diarrhée parasitaire	1	
Affections générales de l'organisme	Mauvais état général (maigre), vitamines	22	64
	Infection du nombril (omphalites)	20	
	Absence de réflexe de succion	16	
	Manque de tonus	3	
	Etat dépressif	3	
Interventions humaines	Ecornage	35	36
	Euthanasie	1	
Troubles de l'appareil respiratoire	Bronchite (coup de froid)	25	27
	Grippe	1	
	Pneumonie	1	
Troubles de l'appareil locomoteur	Arthrite	5	13
	Boiterie (mal aux pieds)	2	
	Entorse	2	
	Lymphangite (inflammation des jarrets)	2	
	Boiterie (accident)	1	
	Hygroma (gros genou)	1	
Affections cutanées	Abcès	2	5
	Hématome (coup)	3	
Affections oculaires	Kératite	1	1
Autres	Malformation	1	2
	Hernie	1	
	TOTAL	294	294
	TOTAL sans les interventions humaines	258	258

ANNEXE 15 : Script qui permet de construire un vecteur contenant les vaches présentes sur la ferme par jour

```
# Construction du N Vaches entre le premier vêlage et la réforme
# Erratum: entre le premier jour de la première lactation et la
réforme

# Tiphaine LE BRIS

# le mercredi 20 juillet 2016
#
#####
#
# La feuille Repro-animal étant incomplète, on va utiliser
# comme repère de début de période à risque la date de début de la
première lactation
# plutôt que la date du premier vêlage.
#
#####
#
# Lecture du fichier : "OTOVEIL_ASTER_09062016.xlsx"
# On a besoin du package readxl

require(readxl)
nomficIn <- c("OTOVEIL_ASTER_09062016.xlsx")

# lecture des feuilles disponibles dans le fichier :
xDataFeuilles <- excel_sheets(nomficIn)

# lecture de la feuille "Lait_lactation"
xDataL <- read_excel(nomficIn,sheet="Lait_lactation",col_names =
TRUE)

# extraction des colonnes qui nous intéressent : Identifiant, date
naissance, date sevrage, date sortie de l'exploitation
vNumInd <- xDataL[,1]
```

```

vNumRan      <- xDataL[,2]
vDatDLac     <- xDataL[,3]

nbLactation <- length(vNumInd)
nbLactation
# 395

#####
#
# Vérification des données
vDatDLac <- as.Date(vDatDLac)      # OK

# Recherche des valeurs manquantes
test0 <- is.na(vNumInd)
summary(test0)
# aucune valeur manquante

test1 <- is.na(vDatDLac)
summary(test1)
# aucune valeur manquante

test2 <- is.na(vNumRan)
summary(test2)
# aucune valeur manquante

#####
#

xDatRefD <- as.Date("2005-01-01")  # format : ( aaaa mm jj )
xDatRefF <- as.Date("2015-12-31")  # format : ( aaaa mm jj )

which(vDatDLac < xDatRefD) # 0
which(vDatDLac > xDatRefF) # 0

#
#####
#

```

```

# On ne récupère que la date de la première lactation enregistrée
#par vache
# Attention, il faudrait s'assurer que les dates sur excel sont bien
#dans un ordre croissant!
# On pourrait rajouter un traitement sur R pour s'assurer que les
#vecteurs sont bien ordonnés...
# Dans le programme ci-dessous, je pars du principe que toutes les
#dates sont croissantes

# vnbjDLac <- rep(0,nbLactation)
# for ( i in 1:nbLactation ) {
# vnbjDLac[i] <- as.numeric(julian(as.Date(vDatDLac[i]), origin =
as.Date(xDatRefD)))}

vNumVache      <- unique(vNumInd)
length(vNumVache)
# 172
vDatlerLac      <- structure(rep(NA, length(vNumVache)),
class="Date")
vNumIndV        <- rep(0, length(vNumVache))

for ( i in 1:length(vNumVache) ) {
  seli <- (vNumInd == vNumVache[i])
  vDatlerLac[i] <- min(vDatDLac[seli])
  vNumIndV[i] <- min(vNumInd[seli])
}

vDatlerLac
vNumIndV
length(vNumIndV)
# 172

# On ne peut pas simplement utiliser le Rang 1 car en 2005 il y a
#des vaches en production mais qui s'en sont pas à leur premier rang
#de lactation ! Il faut pourtant les compter dans le N !

# selk <- which(vNumRan == 1)

```

```

# vNumInd      <- vNumInd[selk]
# vNumRan      <- vNumRan[selk]
# vDatDLac     <- vDatDLac[selk]
# nbLactation  <- length(vNumInd)
# nbLactation
# 152

which(is.na(vDatlerLac))      # Aucun
which(is.na(vNumIndV))       # Aucun
which(vDatlerLac < xDatRefD)  # Aucun
which(vDatlerLac > xDatRefF)  # Aucun

vDatDLac <- vDatlerLac
vNumInd  <- vNumIndV
tabL <- data.frame(vNumInd, vDatDLac)

#####
# On récupère ensuite les dates de réforme des vaches
# Pour cela on doit faire une jointure entre la feuille Vie
# et notre tableau des vaches de première lactation

# lecture de la feuille "Vie"
xDataV <- read_excel(nomficIn, sheet="Vie", col_names = TRUE)
vNumIndVie <- xDataV[,1]
vDatReform <- xDataV[,11]
length(vNumIndVie)
# 490
vDatReform <- as.Date(vDatReform)
# Les vaches qui n'ont pas de date de réforme sont encore en
production
# On remplace la date manquante par xDatRefF
selk <- which(is.na(vDatReform))
selk
vDatReform[selk] <- xDatRefF
selk <- which(vDatReform < xDatRefD)
selk
# Aucune

```

```

# vDatReform[selk] <- xDatRefD
selk <- which(vDatReform > xDatRefF)
selk
# [2] 218 324
vDatReform[selk] <- xDatRefF

# On réalise la jointure
tabV <- data.frame(vNumIndVie, vDatReform)
tab <- merge(tabL, tabV, by=1)

# Je récupère mes vecteurs
vDatDPR <- tab[,2]
vDatFPR <- tab[,3]

#####
# Création du vecteur temps qui correspond à la durée de l'étude
# Transformation des dates en nième jour depuis le début de l'étude
# (fonction Julian)
nbrJREFT <- as.numeric(julian(as.Date(xDatRefF), origin =
as.Date(xDatRefD)))
# 4016 jours
nbVaches <- length(vDatDPR)
# 152
selk <- which( vDatFPR < vDatDPR)
selk # 0 # OK!

# durée vie vache entre début de première lactation et réforme
VieVache <- vDatFPR - vDatDPR
mean(VieVache)
mean(VieVache)/365
min(VieVache)
max(VieVache)
max(VieVache)/365

vNbjDPR <- rep(0,nbVaches)
vNbjFPR <- rep(0,nbVaches)
for ( i in 1:nbVaches ) {

```

```

vNbjDPR[i] <- as.numeric(julian(as.Date(vDatDPR[i]), origin =
as.Date(xDatRefD)))
vNbjFPR[i] <- as.numeric(julian(as.Date(vDatFPR[i]), origin =
as.Date(xDatRefD)))
}
# vecteur correspondant à n (=population à risque pendant la période
à risque) par jour pour l'élevage
#
vecN <- rep(0,nbrJREFT)
for ( i in 1:nbVaches ) {
    selind <- c(vNbjDPR[i]:vNbjFPR[i])
    vecN[selind] <- vecN[selind] + 1
}
# Sortie de N par jour dans un fichier
nbtemps <- length(vecN)
nomFicOut <- paste("Data_N_Vaches_Lac1 - Ref",".txt",sep="")
sink(nomFicOut,append=FALSE)
for ( i in 1:nbtemps ) {
    cat(i)
    cat("\t",round(vecN[i]))
    cat("\n")
}
sink()
# Ce fichier peut-être réutilisé pour les pathologies qui présentent
# la même population à risque

x <- (1:nbrJREFT)
y <- vecN
plot(x,y,type="n",xlab="jour",ylab="n à risque",main="Dynamique des
jours à risque Vaches")
lines(x,y,lty=1,col=1,lwd=2)
#
#####

```

ANNEXE 16 : Script qui permet de construire les vecteurs N et Y pour l'indicateur « locomoteur »

```
# Troubles locomoteurs des Vaches
# Tiphaine LE BRIS
# 22 juin 2016
# modification le 21 juillet 2016
#####
# Lecture du fichier : "OTOVEIL_ASTER_09062016.xlsx"
# On a besoin du package readxl
#
require(readxl)
nomficIn <- c("OTOVEIL_ASTER_09062016.xlsx")

# lecture des feuilles disponibles dans le fichier :
xdatFeuilles <- excel_sheets(nomficIn)

# vecteur correspondant à n (=population à risque pendant la période
à risque) par jour pour l'élevage
#
nomFicIn <- "Data_N_Vaches_La1 - Ref.txt"
nbc <- 2
nbl <- length(scan(nomFicIn))/nbc
dataN <- t(array(scan(nomFicIn),c(nbc,nbl)))
#
vecN <- dataN[,2]

xDatRefD <- as.Date("2005-01-01") # format : ( aaaa mm jj )
xDatRefF <- as.Date("2015-12-31") # format : ( aaaa mm jj )
nbrJREFT <- as.numeric(julian(as.Date(xDatRefF), origin =
as.Date(xDatRefD)))
# 4016 jours

x <- (1:nbrJREFT)
y <- vecN
```

```

plot(x,y,type="n",xlab="jour",ylab="n à risque",main="Dynamique des
jours à risque")
lines(x,y,lty=1,col=1,lwd=2)

#####
#
# Pathologies de l'appareil locomoteur
# "Boiterie (accident)", "Boiterie (mal aux pieds)",
# "Panaris", "Lymphangite (inflammation des jarrets)", "Arthrite",
# "Entorse", "Fourbure", "Fracture", "Limace",
# "Ulcère typique (cerise)", "Décollement de la ligne blanche",
# "Accident", "Distention ou déchirure de ligaments"

# lecture de la feuille "Sanitaire_Curatif"
xDataP <- read_excel(nomficIn,sheet="Sanitaire_Curatif",col_names =
TRUE,skip=1)
#
vNumIndP      <- xDataP[,1]
vCarTypeAnimal <- xDataP[,2]
vDatDPatho    <- xDataP[,6]
vDatDTrtmt    <- xDataP[,10]
vDatFPatho    <- xDataP[,11]
vCarNomPatho  <- xDataP[,4]
vNumIdPatho   <- xDataP[,3]
nbPatho       <- length(vNumIndP)
# 5162

# Sélection des vaches

Vaches <- which(vCarTypeAnimal %in% c("Vaches en lactation",
"Vaches Taries (sans décision de réforme)", "Vaches taries pour la
Boucherie (décision de réforme)"))

vNumIndP      <- vNumIndP[Vaches]
vCarTypeAnimal <- vCarTypeAnimal[Vaches]
vDatDPatho    <- vDatDPatho[Vaches]
vDatDTrtmt    <- vDatDTrtmt[Vaches]

```

```

vDatFPatho      <- vDatFPatho[Vaches]
vCarNomPatho    <- vCarNomPatho[Vaches]
vNumIdPatho     <- vNumIdPatho[Vaches]
nbPatho        <- length(vNumIndP)
nbPatho
# 3517 # OK!

Patho <- which(vCarNomPatho %in% c("Boiterie (accident)", "Boiterie
(mal aux pieds)",
"Panaris", "Lymphangite (inflammation des jarrets)", "Arthrite",
"Entorse", "Fourbure", "Fracture", "Limace",
"Ulcère typique (cerise)", "Décollement de la ligne blanche",
"Accident", "Distention ou déchirure de ligaments"))

vNumIdPatho <- vNumIdPatho[Patho]
vDatDPatho  <- vDatDPatho[Patho]
vDatFPatho  <- vDatFPatho[Patho]
vDatDTrtmt <- vDatDTrtmt[Patho]
nbPatho <- length(vNumIdPatho)
nbPatho
# 1340 # OK

vDatDPatho <- as.Date(vDatDPatho)
vDatFPatho <- as.Date(vDatFPatho)
vDatDTrtmt <- as.Date(vDatDTrtmt)

which(is.na(vNumIdPatho))
which(is.na(vDatDPatho))
which(is.na(vDatFPatho))
which(is.na(vDatDTrtmt))

# Remplacer les dates de fin de traitement NA par les dates de début
de traitement
selk <- which(is.na(vDatDTrtmt))
vDatDTrtmt[selk] <- vDatDPatho[selk]
selk <- which(is.na(vDatFPatho))
vDatFPatho[selk] <- vDatDTrtmt[selk]

```

```

which(vDatDPatho < xDatRefD)
selk <- which(vDatDPatho < xDatRefD)
vDatDPatho[selk] <- xDatRefD

which(vDatDPatho > xDatRefF)
# selk <- which(vDatDPatho > xDatRefF)
# vNumIdPatho <- vNumIdPatho[-selk]
# vDatDPatho <- vDatDPatho[-selk]
# vDatFPatho <- vDatFPatho[-selk]
# vDatDTrtmt <- vDatDTrtmt[-selk]
# nbPatho <- length(vNumIdPatho)

which(vDatFPatho < xDatRefD)
selk <- which(vDatFPatho < xDatRefD)
vNumIdPatho <- vNumIdPatho[-selk]
vDatDPatho <- vDatDPatho[-selk]
vDatFPatho <- vDatFPatho[-selk]
vDatDTrtmt <- vDatDTrtmt[-selk]
nbPatho <- length(vNumIdPatho)

which(vDatFPatho > xDatRefF)
# selk <- which(vDatFPatho > xDatRefF)
# vDatFPatho[selk] <- xDatRefF

vNbjDPatho <- rep(0,nbPatho)
for ( i in 1:nbPatho ) {
  vNbjDPatho[i] <- as.numeric(julian(as.Date(vDatDPatho[i]), origin
= as.Date(xDatRefD)))
}

vNbjFPatho <- rep(0,nbPatho)
for ( i in 1:nbPatho ) {
vNbjFPatho[i] <- as.numeric(julian(as.Date(vDatFPatho[i]), origin =
as.Date(xDatRefD)))
}

```

```

#
seli      <- (vNbjDPatho>0)
vNumIdPatho <- vNumIdPatho[seli]
vNbjDPatho <- vNbjDPatho[seli]
vNbjFPatho <- vNbjFPatho[seli]
#
selin <- (vNbjFPatho>0)
vNumIdPatho <- vNumIdPatho[selin]
vNbjFPatho <- vNbjFPatho[selin]
vNbjDPatho <- vNbjDPatho[selin]
#
nbPathor <- unique(vNumIdPatho)
matY <- array(rep(0,2*length(nbPathor)),c(length(nbPathor),2))
for ( i in 1:length(nbPathor) ) {
  seli <- (vNumIdPatho==nbPathor[i])
  matY[i,1] <- min(vNbjDPatho[seli])
  matY[i,2] <- max(vNbjFPatho[seli])
}

dim(matY)
# 313      2

matY
#

# vecteur correspondant à yDiar par jour pour l'élevage (occurrence
de Diarrhées S.)
vecY <- rep(0,nbrJREFT)
for ( i in 1:length(nbPathor) ) {
  selind <- matY[i,1]
  vecY[selind] <- vecY[selind] + 1
}
sum(vecY)
# 313
#
# vecteur jour à risque décrétement en tenant compte de la durée du
traitement

```

```

for ( i in 1:length(nbPathor) ) {
  if (matY[i,2] > matY[i,1] ) {
    selind <- ((matY[i,1]+1):matY[i,2])
    vecN[selind] <- vecN[selind] - 1
  }

  if (vecN[selind] < 0) {
    vecN[selind] <- 0
  }
}

x <- (1:nbrJREFT)
y <- vecN
z <- vecY
plot(x,y,type="n", ylim = c(0,50), xlab="jours",ylab="effectifs",
      main=paste("dynamique des jours à risque","\n et des occurences
de problèmes locomoteurs",sep=""))
lines(x,y,lty=1,col=1,lwd=2)
lines(x,z,lty=1,col=2,lwd=2)

legend("topright", legend=c("N population à risque", "Y : Occurences
de la pathologie", "Espérance de Y", "Intervalle de confiance" ),
      col=c("black", "red", "green", "green"), lty=c(1, 1, 1, 2),
cex=0.8, box.lty=0, title="Légende")

#####
#####
#
# Représentation par mois (30 jours), ...
#
vecD <- rep(0,length(vecN))
selk <- (vecN>0)
vecD[selk] <- 1
mDat <- cbind(vecY,vecN,vecD)

# Définition d'une fonction d'aggrégation permettant
# de passer de la journée à des périodes de 30 jours (1 mois)

```

```

#
fctAggregationTemps <- function( pmDat, pvPasTemps ) {
  #
  #pmDat <- mDat
  #pvPasTemps <- c(7)
  #
  # pmDat est une matrice à :
  # * nblig = nombre total de jour
  # * nbcou = 3 avec Y(1), N(2) et D(3)
  # pvPasTemps est un vecteur :
  # * à 1 seul élément si un pas de temps uniforme est désiré
  # * contenant les bornes des intervalles de temps successifs
  #
  if ( length(pvPasTemps) == 1 ) {
    #
    nblig <- dim(pmdat)[1]
    newnbl <- round(nblig/pvPasTemps)
    newmdat <- array(rep(0,newnbl*4),c(newnbl,4))
    xbornsup <- (1:newnbl)*pvPasTemps
    xbornsup[newnbl] <- nblig
    newmdat[,4] <- xbornsup
    xbinf <- 1
    for ( i in 1:newnbl ) {
      xbsup <- xbornsup[i]
      newmdat[i,3] <- sum(pmdat[c(xbinf:xbsup),3])
      # D
      xnsom <- sum(pmdat[c(xbinf:xbsup),2])
      if ( newmdat[i,3] != 0 ) newmdat[i,2] <- xnsom/newmdat[i,3]
      # N
      newmdat[i,1] <- sum(pmdat[c(xbinf:xbsup),1])
      # Y
      xbinf <- xbsup + 1
    }
    #
  } else {
    #
  }
#

```

```

    }
#
newmDat
#
}
#
mDat30 <- fctAggregationTemps( mDat, c(30) )
#
#
# sortie dans un fichier ...
#
y <- mDat30
nbtemps <- dim(y)[1]
nbvar <- dim(y)[2] # (Y, N, D, xtempsSup)
nomFicOut <- paste("DataNY_Locomoteur_Vaches", ".txt", sep="")
sink(nomFicOut, append=FALSE)
#
for ( i in 1:nbtemps ) {
  cat(i)
  for ( j in 1:nbvar ) {
    cat("\t", round(y[i,j]))
  }
  cat("\n")
}
#
sink()
#
#

x <- (1:dim(mDat30)[1]) # nombre de mois
y <- mDat30[,2] # N
z <- mDat30[,1] # Y
w <- mDat30[,3] # D
plot(x,y,type="n", ylim = c(0, 57), xlab="mois", ylab="effectifs",
     main=paste("Dynamique des mois à risque","\n et des occurences
de problèmes locomoteurs", sep=""))
lines(x,y,lty=1,col=1,lwd=2)

```

```
lines(x,z,lty=1,col=2,lwd=2)
```

```
legend("topright", legend=c("N : population à risque", "Y :  
Occurences de la pathologie", "Espérance de Y", "Intervalle de  
confiance à 95%" ),
```

```
col=c("black", "red", "green", "green"), lty=c(1, 1, 1, 2),  
cex=0.8, box.lty=0, title="Légende")
```

ANNEXE 17 : Script de modélisation de l'indicateur « locomoteur »

```
# Modèle Problèmes locomoteurs Vaches
# Tiphaine LE BRIS
# le jeudi 21 juillet 2016
# DataNY_Locomoteur_Vaches
#####

nomFicIn <- "DataNY_Locomoteur_Vaches.txt"
nbc <- 5
nbl <- length(scan(nomFicIn))/nbc
dataP <- t(array(scan(nomFicIn),c(nbc,nbl)))
#
vY <- dataP[,2]
vN <- dataP[,3]
vD <- dataP[,4]
nbrMREFT <- length(vY)
#
# on ne prend en compte que les périodes de 30 jours avec N > 0
selk <- (vN!=0.0)
vY1 <- vY[selk]
vN1 <- vN[selk]

length(vY1)          # 133
nbrMREFT1 <- length(vY1)
#
# Modèle GLM avec loi binomiale ...
matY <- cbind(vY1,(vN1-vY1))
resglm1 <- glm(matY ~ 1, family = binomial)
summary(resglm1)
respglm1 <- unique(predict(resglm1,type="response"))
respglm1
#      0.06237545
# Residual deviance: 278.51  on 132  degrees of freedom
# AIC: 561.04
```

```

# Modèle GLM avec loi de Poisson ...
resglm2 <- glm(vY1 ~ 1 + offset(log(vN1)), family = poisson)
summary(resglm2)
respglm2 <- unique(predict(resglm2,type="response"))
#names(resglm2)
#resglm2$coefficients
exp(resglm2$coefficients)
#      0.06237545
# Residual deviance: 261.97  on 132  degrees of freedom
# AIC: 553.15

# Modèle GLM avec loi binomiale négative (BN) ...
library(MASS)
require(MASS)
resglm3 <- glm.nb(vY1 ~ 1 + offset(log(vN1)))
summary(resglm3)
ressumglm3 <- summary(resglm3)
respglm3 <- log(predict(resglm3,type="response"))
#names(resglm3)
#resglm3$coefficients
prob <- exp(resglm3$coefficients)
gamma <- resglm3$theta
prob
gamma
#      prob =  0.06210047      gamma =  2.661542
# Residual deviance: 159.03  on 132  degrees of freedom
# AIC: 528.74

# On retient le modèle de la binomiale négative

x <- (1:nbrMREFT1)
y <- vY1
w <- vN1

```

```

plot(x,y,type="n", ylim = c(0,57), xlab="mois entre janvier 2005 et
décembre 2015",ylab="effectifs",
      main=paste("Dynamique des mois à risque","\n et des occurences
de troubles locomoteurs",sep=""))
lines(x,w,lty=1,col=1,lwd=2)
lines(x,y,lty=1,col=2,lwd=2)

vypredict <- prob*vN1
vypredictSup <- qnbinom(0.95,size=gamma,mu=prob*vN1)
lines(x,vypredict,lty=1,col=3,lwd=2)
lines(x,vypredictSup,lty=2,col=3,lwd=2)

legend("topleft", legend=c("N : population à risque", "Y :
Occurences de la pathologie", "Espérance de Y", "Intervalle de
confiance à 95%" ),
      col=c("black", "red", "green", "green"), lty=c(1, 1, 1, 2),
cex=0.8, box.lty=0, title="Légende")

savePlot("Modèle_Locomoteurs_Vaches", "png")

seli <- (y>vypredictSup)
sum(seli) # 5
selk <- (vN!=0)
sum(selk) # 133
pvalueBN <- sum(seli)/sum(selk)
pvalueBN # 0.03759398

x[seli]
# 18 30 66 90 114

#####
#####
# Travail sur les résidus
yResidus <- residuals(resglm3, type="pearson")
qpvrefNO <- qnorm(0.975,0.0,1.0)
qpvrefNO2 <- qnorm(0.995,0.0,1.0)
qpvrefNO3 <- qnorm(0.9995,0.0,1.0)

```

```

x <- (1:length(vY1)) # nombre de mois
plot(x,yResidus,type="n",ylim=range(-qpvrefNO3,+qpvrefNO3,yResidus),
      xlab="mois",ylab="résidus normés",main="")
points(x,yResidus,pch=1,cex=1.0,col=2)
abline(h=0.0,lty=1,col=1,lwd=2)
abline(h=+qpvrefNO,lty=2,col=3,lwd=2)
abline(h=-qpvrefNO,lty=2,col=3,lwd=2)

savePlot("Résidus_Dispersion_Locomoteurs_Vaches", "png")

y <- yResidus
xkol0 <- ks.test(y,"pnorm",0.0,1.0)
xboxP <- Box.test(y,type = "Box-Pierce")
xkol0
# ATTENTION, Résidus non gaussiens!!! car p-value 0.04275 < 0,05

xboxP
# PAS D'AUTOCORRELATION Car p-value 0.07761 > 0,05

y <- yResidus
reshist <- hist(y,plot=FALSE)
maxy <- round(max(abs(y)))
z <- seq(-maxy-1.0,+maxy+1.0,length=200)
yNO <- dnorm(z,0.0,1.0)
hist(y,freq=F,ylim=range(c(yNO,max(reshist$density))),xlab="résidus
normés",ylab="probabilité",
      xlim=range(y,z),
      main="histogramme")
lines(z,yNO,lty=1,col=2,lwd=2)
legend("right",legend=c("N(0,1)"),col=c(2),lty=c(1),lwd=c(2),cex=1.0
,bg="white")

savePlot("Résidus_Répartition normale_Locomoteurs_Vaches", "png")

y <- yResidus
maxy <- round(max(abs(y)))
z <- seq(-maxy-1.0,+maxy+1.0,length=200)

```

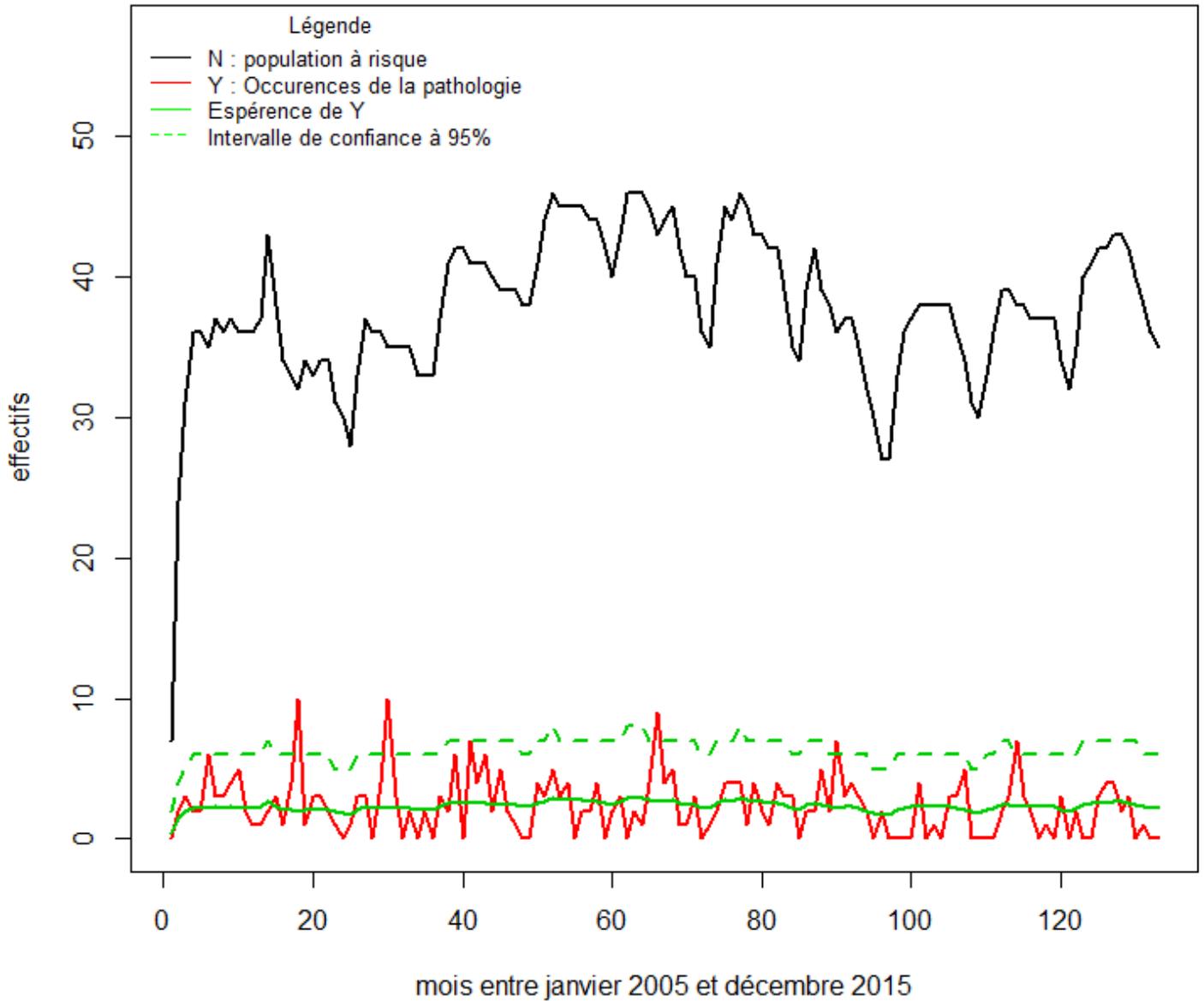
```
yNOF <- pnorm(z,0.0,1.0)
plot(ecdf(y),xlim=range(c(y,z)),pch=1,cex=1.0,xlab="résidus normés",
     main="ecdf")
lines(z,yNOF,lty=1,col=2,lwd=3)
legend("right",legend=c("N(0,1)"),col=c(2),lty=c(1),lwd=c(2),cex=1.0
      ,bg="white")

savePlot("Résidus_Komlogorov_Locomoteurs_Vaches", "png") # normalité

y <- yResidus
pacf(y,main="pacf")
legend("topright",legend=c("IC à
95%"),col=c(1),lty=c(3),lwd=c(2),cex=1.0,bg="white")
```

ANNEXE 18 : Représenter la modélisation de l'indicateur « locomoteur » sur R

Dynamique des mois à risque et des occurrences de troubles locomoteurs



ANNEXE 19 : Résultats sur l'étude de l'équilibre sanitaire des génisses

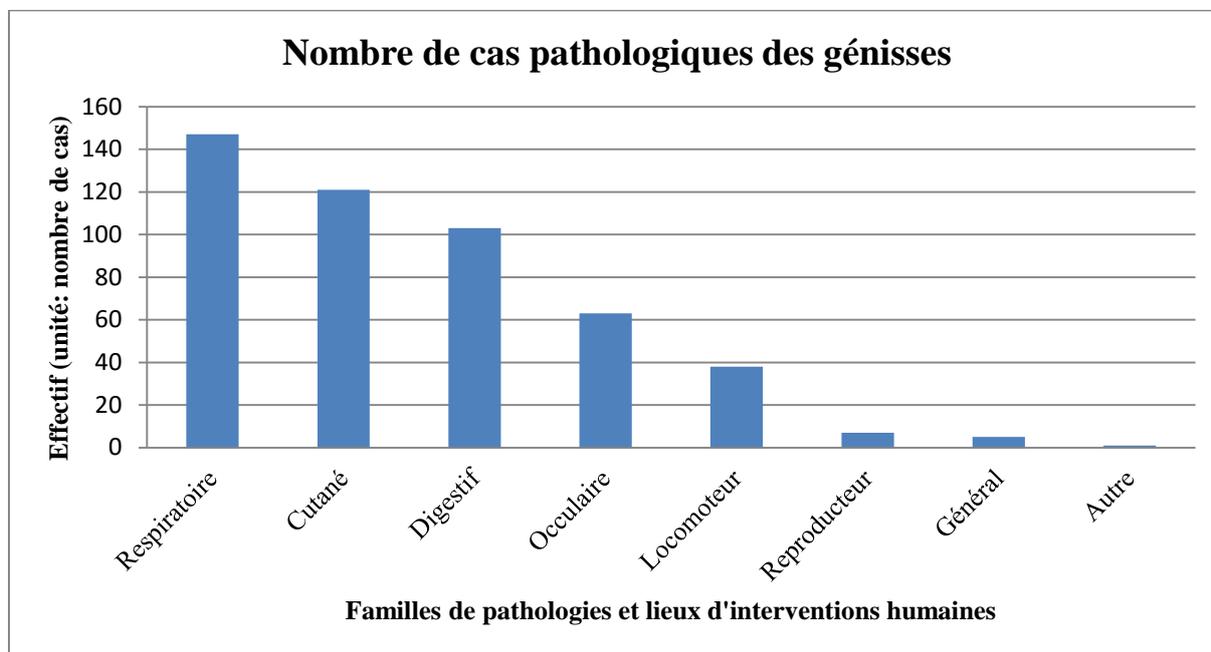


Figure 20: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les génisses du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Tableau 15: Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des génisses

Indicateur	Modèle	Déviance résiduelle (DR)	Degrés de liberté (DDL)	Rapport DR/DDL	AIC	P	γ	Nombre de signaux	"p-value" du modèle retenu
Respiratoire	BN	32,62	133	0,25	186	0,027	0,031	7	5%
Cutané	BN	32,68	133	0,25	175	0,024	0,032	6	4%
Digestif	BN	38,36	133	0,29	181	0,016	0,047	6	4%
Kératites	BN	73,47	133	0,55	226	0,011	0,222	3	2%

L'équilibre sanitaire des génisses

La sélection des indicateurs

Pour étudier l'équilibre sanitaire des génisses, j'ai retenu 4 indicateurs : les troubles respiratoires – dits « respiratoire » – comprenant les bronchites vermineuses et les bronchites hivernales (type grippe, pneumonie, etc.), les problèmes cutanés – dits « cutané » – du type verrues et parasites externes, les troubles du système digestif – dits « digestif » – telles que les coliques et les troubles de la digestion, et les problèmes oculaires – dits « kératites » – à travers les kérato-conjonctivites et autres types de kératites. En effet, il s'agit des principaux maux qui ont affectés les génisses sur la période d'étude (voir figure ci-contre). De plus, ces indicateurs permettent d'aborder les thématiques qui préoccupent le plus les éleveurs bio sur le pré-troupeau, notamment le parasitisme, et en particulier les strongles gastro-pulmonaires et la teigne.

Le choix des modèles statistiques

Pour modéliser chacun des indicateurs étudiés, j'ai utilisé une loi binomiale négative (voir les paramètres dans le tableau ci-contre). Ces modèles sont dans l'ensemble peu satisfaisants car le critère dR/ddl est souvent inférieur à 0,50. Il devrait être égal à 1 dans le meilleur des cas. Ce rapport étant inférieur à 1, on en déduit que les valeurs observées sont sous-dispersées par rapport à une loi binomiale négative. Cependant, elles étaient beaucoup trop dispersées par rapport aux autres lois testées (binomiale et Poisson). Le modèle calculé avec les lois binomiale négative demeure ainsi le meilleur compromis et nous a tout de même permis de détecter des périodes de stabilité et de rupture.

La détection des signes de déséquilibre

On détecte encore une fois une certaine saisonnalité dans les signaux du déséquilibre (voir tableau suivant). En effet, les troubles respiratoires d'origine parasitaire se manifestent plutôt au pâturage, entre juillet et septembre alors que les bronchites de type « coup de froid » ou les pneumonies se rencontrent en hiver. Cependant, il est possible que des strongles contractés au pâturage entraînent des toux alors que les animaux sont rentrés en bâtiments. Les facteurs prédisposant l'apparition de ces pathologies sont donc plutôt à chercher du côté de la météo, de la gestion du pâturage et du parasitisme, et des conditions d'hébergement des animaux (isolation, protection contre l'humidité, circulation de l'air et coupes vent).

Tableau 16: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des génisses

Indicateur	Points d'abscisse des signaux de déséquilibre	Correspondance en mois et année
Respiratoire	37 45 67 80 123 128 132	jan08, sep08, juil10, aoû11, mar15, aoû15, dec15
Cutané	9 47 50 88 98 128	sep05, nov08, fev09, avr12, fev13, aoû15
Digestif	7 11 12 21 83 130	juil05, nov05, dec05, sep06, nov11, oct15
Kératites	7 19 81	juil05, juil06, sep11

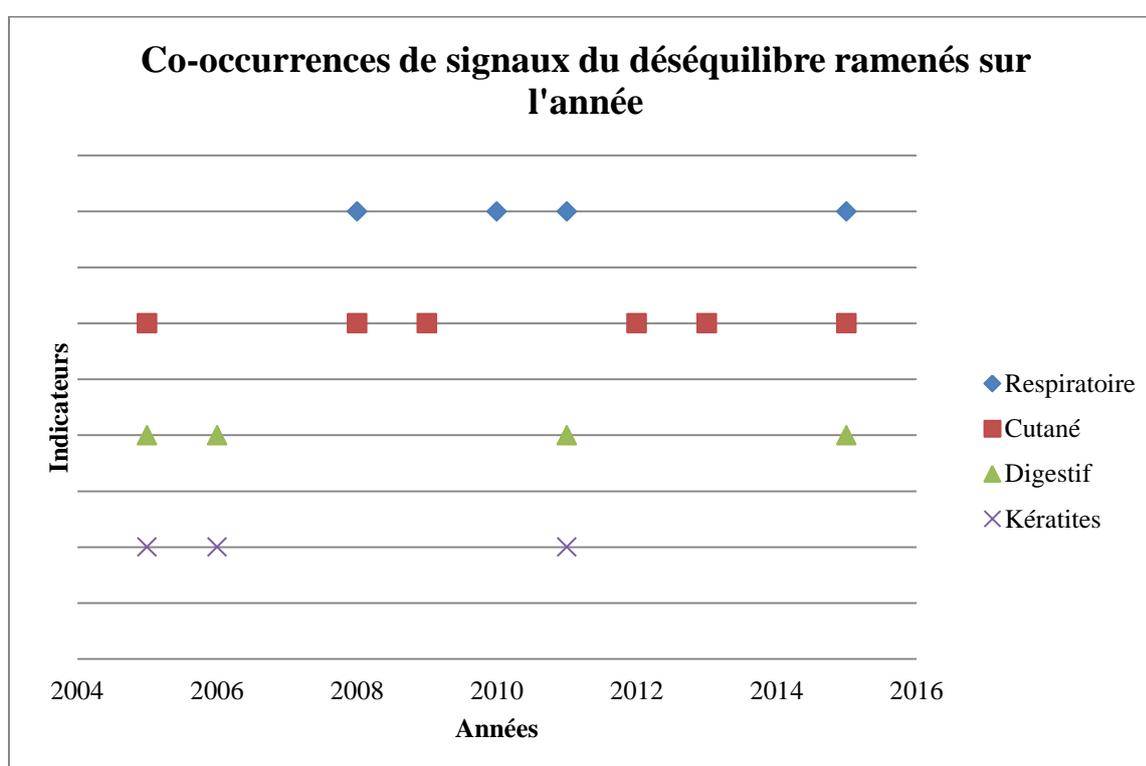


Figure 21: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Génisses

Les kératites sont également sujettes à la saisonnalité, en effet, il s'agit plutôt d'une pathologie d'été liée à l'environnement et contractée au pâturage, plutôt dans des prairies humides ou proches de points d'eau lorsqu'il s'agit de kératites causées par des mouches. Néanmoins, certaines kératites peuvent être dues à des milieux très poussiéreux et donc plutôt secs. Sur Mirecourt, il semble que les kératites soient davantage dues à des mouches et donc plutôt contractées l'été, entre juin et septembre.

Au contraire, on observe moins de saisonnalité dans les deux autres critères. En effet, les troubles digestifs et les affections cutanées sont dus à des causes variées et donc les facteurs d'exposition sont multiples. D'une part les troubles digestifs peuvent être dus à des parasites comme les coccidies et les strongles, mais ils peuvent être également d'origine bactérienne ou virale comme la grippe. Les facteurs prédisposants peuvent donc être liés à la météo, au pâturage, aux pratiques de médecine préventive, et aux conditions d'hébergement des animaux (structure et hygiène des bâtiments). D'autre part les problèmes cutanés peuvent être provoqués par des parasites comme la teigne, mais il peut aussi s'agir de virus comme les verrues. Les facteurs potentiels sont donc de même nature que ceux présentés précédemment.

Synthèse partielle

Les années qui cumulent des signaux du déséquilibre sur plusieurs indicateurs sont les années 2005, 2006, 2008, 2011 et 2015 avec en particulier les années 2005, 2011 et 2015 qui présentent des déséquilibres sur plus de deux indicateurs. A l'inverse, les années 2007 et 2014 semblent être des années où les génisses n'ont pas présenté de signe de déséquilibre du point de vue de la santé, d'après les indicateurs sélectionnés (voir ci-contre).

On peut remarquer que les années où il y a eu de potentiels déséquilibres sur l'indicateur « kératites », il y en a aussi eu sur l'indicateur « digestif ». Il pourrait donc être intéressant de chercher les liens qui pourraient exister entre ces deux indicateurs. Sans doute ces deux indicateurs partagent-ils des facteurs communs. Les autres indicateurs quant à eux ne semblent pas présenter de lien particulier, d'après ce graphique tout du moins.

ANNEXE 20 : Résultats sur l'étude de l'équilibre sanitaire des veaux

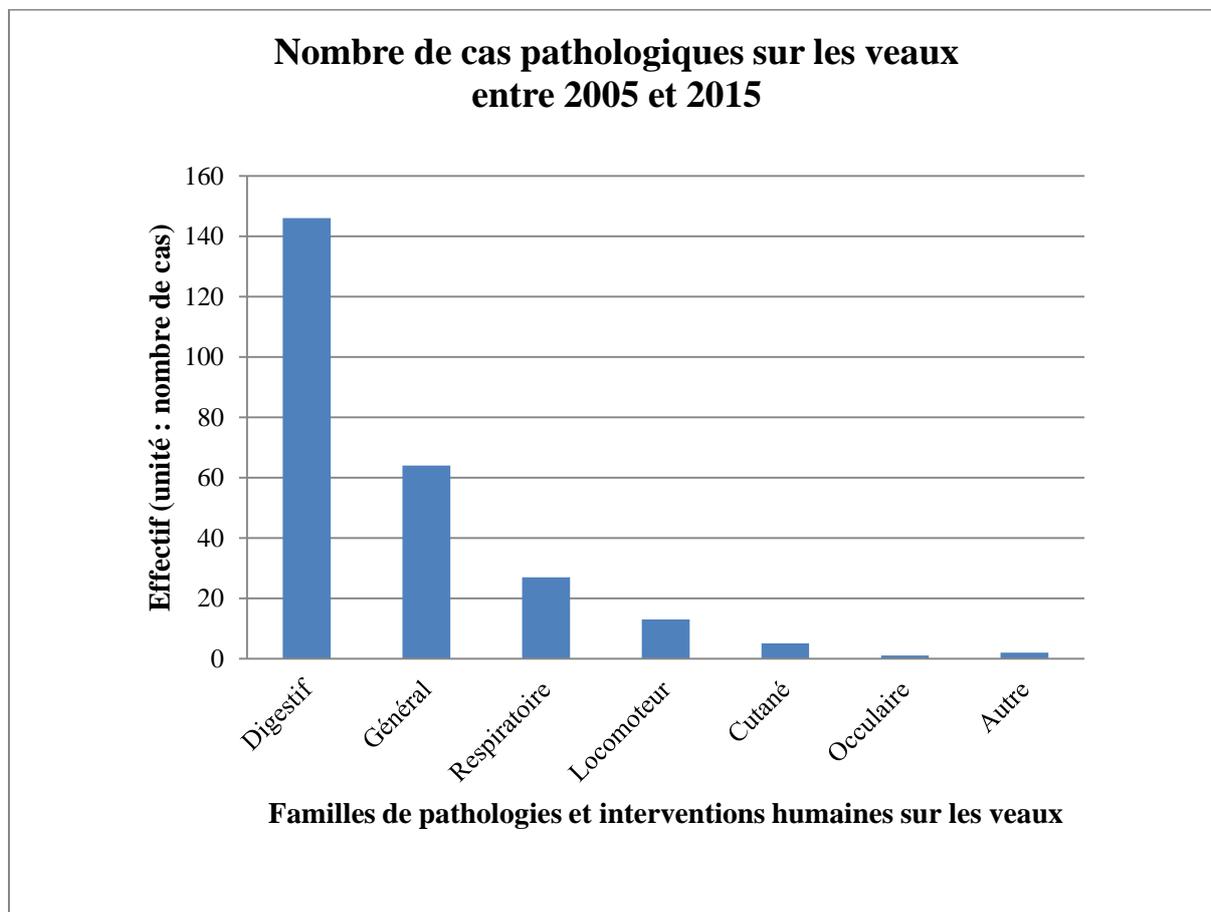


Figure 22: Mesure et classification par famille des cas pathologiques observés sur les veaux du SH de Mirecourt entre 2005 et 2015

Tableau 17 : Résumé du nombre de veaux nés, du nombre de veaux morts et du taux de mortalité annuel entre 2005 et 2015

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOT
Nombre de veaux nés	43	38	25	43	42	39	46	41	35	35	34	421
Nombre de veaux morts	4	8	2	1	0	3	7	3	4	3	3	38
Taux de mortalité	9%	21%	8%	2%	0%	8%	15%	7%	11%	9%	9%	9%

L'équilibre sanitaire des veaux

La sélection des indicateurs

Pour étudier l'équilibre sanitaire des veaux, j'ai retenu 6 indicateurs : la mortalité des veaux – dit « mortalité » – qui permet d'analyser les différentes causes de mortalité et leur évolution entre 2005 et 2015, les troubles digestifs – dits « digestif » également – qui regroupent les différents problèmes de diarrhées chez les veaux et dont la composante principale est la diarrhée septicémique (79% des diarrhées chez les veaux sur les 11 ans), les diarrhées septicémiques seules – dites « diarrhée » –, les affections de l'appareil respiratoire – dites « respiratoire » également – qui regroupent des bronchites dues au froid principalement, les infections du nombril aussi appelées « gros nombril » dans le langage courant – dites « omphalite » – et les affections qui touchent l'état général des veaux – dits « état général » – qui regroupent des infections générales et des observations comme les absences du réflexe de succion chez les veaux nouveaux nés et les comportements amorphes. Ce dernier indicateur comprend aussi les omphalites car elles ont souvent un impact général sur l'état du veau. L'idée étant, entre autre, de voir si on obtient les mêmes résultats avec les indicateurs « digestif » et « diarrhée », et « état général » et « omphalite », pour pouvoir n'en utiliser plus qu'un des deux par la suite.

La mortalité des veaux

Le taux de mortalité des veaux a fluctué entre 0 et 21% entre 2005 et 2015. Si l'exploitation semble être « dans les clous » la plupart du temps (sur la période d'étude), avec un taux de mortalité des veaux inférieur à 10%, les années 2006 et 2011 présentent des taux de mortalités anormalement élevés (voir tableau ci-contre).

Entre 2005 et 2015, l'exploitation aura ainsi perdu 38 veaux. Les premières causes de mortalité sont les conditions de vêlage, responsable de la mort de plus d'un veau sur deux (voir figures suivantes). Viennent ensuite les conditions de mise bas et les diarrhées qui expliquent chacune 16% de la mortalité des veaux. Comparativement aux autres causes de mortalité, les pathologies sont une cause mineure de mortalité des veaux, responsable en moyenne de la mort d'un veau sur cent nés. Si les conditions de vêlage ne sont sans doute pas optimales tous les ans (responsables en moyenne de la mort d'un veau sur cent nés, mais de 6 veaux sur 38, soit 16%, en 2006), relativement peu de veaux meurent dans les 48h post partum.

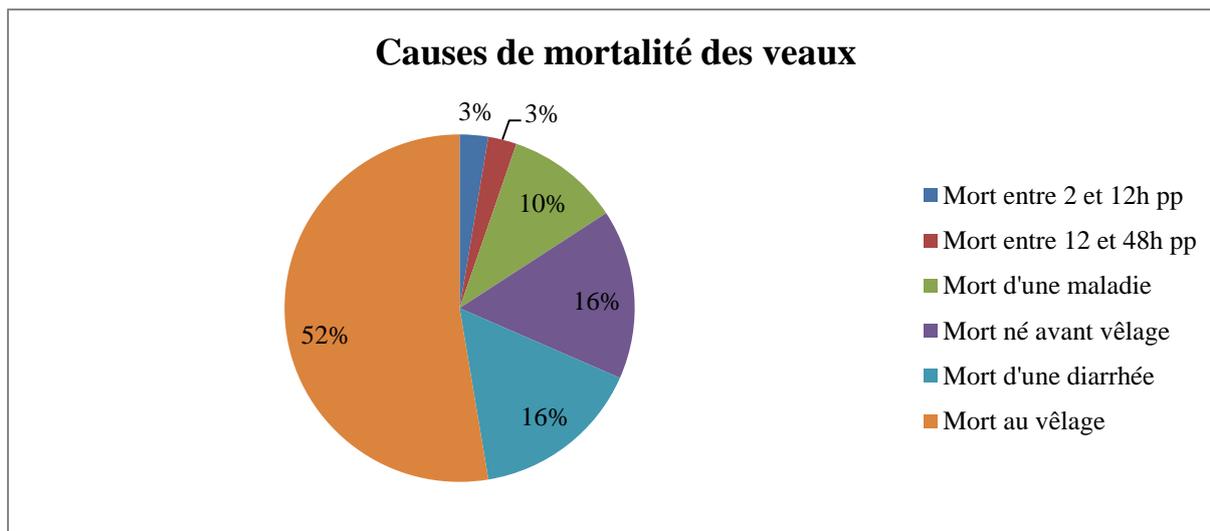


Figure 23: Proportion des causes de mortalité des 38 veaux morts dans le troupeau de 2005 à 2015

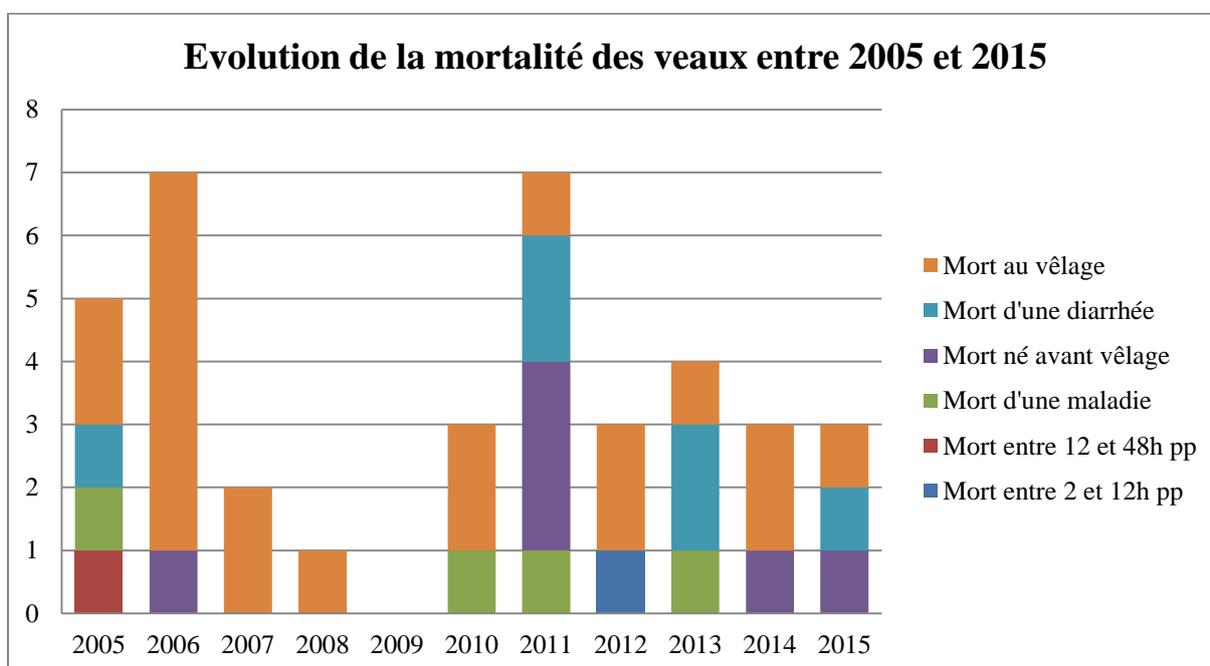


Figure 24 : Evolution des causes de la mortalité des veaux entre 2005 et 2015

Tableau 18 : Résumé de la détermination des modèles pour chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des veaux

Indicateur	Modèle	Déviance résiduelle (DR)	Degrés de liberté (DDL)	Rapport DR/DDL	AIC	P	γ	Nombre de signaux	"p-value" du modèle retenu
Troubles digestifs	BN	69,90	84	0,83	255	0,164	0,421	5	6%
Diarrhée	BN	62,43	84	0,74	226	0,134	0,343	5	6%
Respiratoire	P	130,68	84	1,56	157	0,033		5	6%
Etat Général	BN	50,56	84	0,60	150	0,057	0,284	3	4%
Omphalites	B	72,76	84	0,87	102	0,025		3	4%

Le choix des modèles statistiques

J'ai également retenu la loi binomiale négative pour modéliser la plupart des indicateurs de l'équilibre sanitaire des veaux. Cependant, j'ai également eu recours à la loi binomiale (pour l'indicateur « omphalite ») et à la loi de Poisson (pour l'indicateur « respiratoire »). Ces modèles sont globalement satisfaisants car leur dR/ddl est globalement comprise entre 0,50 et 1,50, sauf pour « respiratoire » où le rapport est égal à 1,56, et sont relativement proches de 1. Mis à part cet indicateur, toutes les données réelles sont légèrement sous-dispersées par rapport aux valeurs théoriques des modèles. Les données pour l'indicateur « respiratoire » peuvent en effet être sur-dispersées du fait de la saisonnalité (souvent l'hiver à cause du froid et de l'humidité), de la nature des facteurs d'exposition responsables (souvent assez importants pour toucher toute la population, comme des bâtiments peu étanches) et de la nature parfois contagieuse de ces épisodes sanitaires (exemple : la grippe). Ainsi, alors qu'il peut y avoir beaucoup de cas concentrés sur une courte période, il peut également y avoir une grande proportion de zéro (absence de cas pathologique) le reste du temps (voir tableau ci-contre).

La détection des signes de déséquilibre

On peut ici conclure que si l'indicateur « digestif » semble être fortement corrélé à l'indicateur « diarrhée » et que ce dernier semblerait suffire à décrire l'état général de l'équilibre digestif des veaux, l'indicateur « omphalite » semble lui assez mal représenter l'état général des veaux. Ces deux derniers indicateurs semblent d'ailleurs si peu liés qu'il pourrait être pertinent de remettre en question cette classification. Il faudrait alors sortir les omphalites de la famille « état général » si elles s'avèrent ne pas affecter l'état général des veaux ou, tout du moins, pas dans les premiers jours de vie. En effet, les autres composantes de cette famille sont des affections ou des comportements qui touchent le veau dans les quelques heures, voire quelques jours qui suivent sa naissance (voir tableau suivant).

Les troubles digestifs, et donc les diarrhées septicémiques, apparaissent pendant les mois froids et humides et plutôt au début de la période de nurserie. On observe également qu'il y avait plus de problèmes entre 2005 et 2009 qu'entre 2010 et 2015. Cela peut être expliqué par les travaux qui ont été réalisés en 2009. En effet, le bâtiment des veaux a été rénové et les animaliers ont commencé à utiliser de manière systématique des niches pour héberger les veaux pendant les premiers jours de vie (jusqu'à 15 jours si possible). Les vides sanitaires ont été également réalisés de manière plus stricte à partir de 2009.

Tableau 19: Identification des signaux du déséquilibre de chaque indicateur de l'équilibre sanitaire des veaux

Indicateur	Points d'abscisse des signaux de déséquilibre	Correspondance en mois et année
Troubles digestifs	3, 18, 25, 35, 72	mar05, mar07, fev08, avr09, mar14
Diarrhée	4, 18, 25, 35, 72	avr05, mar07, fev08, avr09, mar14
Etat Général	25, 40, 48	fev08, jan10, jan11
Omphalites	3, 18, 34	mar05, mar07, mar09
Respiratoire	1, 3, 19, 73, 80	jan05, mar05, avr07, avr14, fev15

Les problèmes d'état général ont lieu au tout début de la période de nursing car il s'agit de troubles des premiers jours de vie du veau, sauf en ce qui concerne les omphalites qui peuvent survenir plus tard. Ces troubles sont davantage liés à des conditions de mise-bas difficiles. Mais peuvent aussi être provoquées par une négligence des soins à prodiguer aux veaux et accentués par une mauvaise ambiance de bâtiment. Il faudra donc aller rechercher les facteurs parmi ces éléments.

Les signaux du déséquilibre sur les omphalites sont apparus en mars entre 2005 et 2009. On pourrait expliquer cela par une certaine négligence des soins à apporter aux veaux, notamment la bonne désinfection du nombril, et par une ambiance de bâtiment défavorable. En effet, à l'époque il s'agissait encore du vieux bâtiment qui protégeait mal de l'humidité. On peut également soupçonner un manque de paillage qui pourrait expliquer une exposition prédisposante du nombril aux germes.

Les troubles respiratoires, des « bronchites (coup de froid) » pour la plupart, sont concentrés sur l'hiver car dus à des conditions d'hébergement. En effet, les courants d'air et l'humidité favorise l'émergence de ces pathologies. Si on pouvait donc s'attendre à voir une diminution de ces troubles après 2009, on peut être surpris de voir une résurgence des bronchites en 2014 et en 2015. Une hypothèse pourrait être un hiver et un printemps particulièrement pluvieux et venteux.

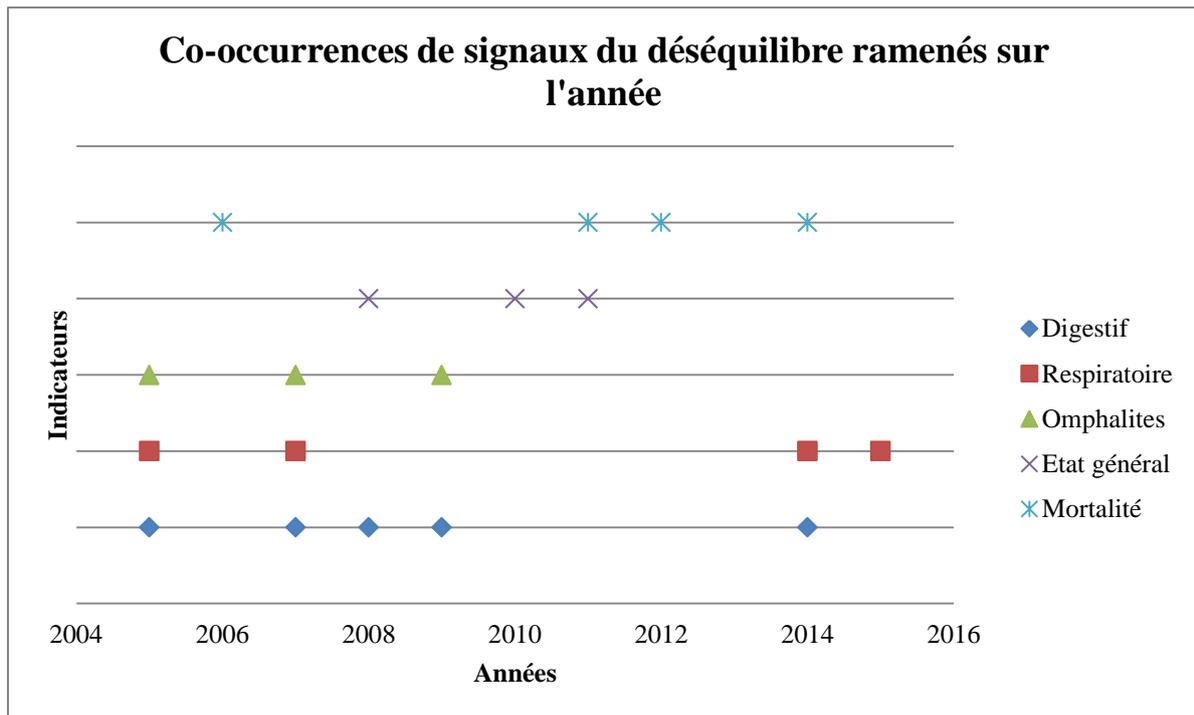


Figure 25: Identification des années dites de "potentiel déséquilibre" - Veaux

Synthèse partielle

Les années qui cumulent des déséquilibres sur différents indicateurs sont donc les années 2005, 2007, 2008, 2009, 2001 et 2014. Les années 2005, 2007 et 2014 semblent être les plus « difficiles » (plus de deux indicateurs en déséquilibre sur l'année). A l'inverse, l'année 2013 semble très stable et ne présente aucun signal de déséquilibre.

La mortalité des veaux ne semble donc pas due à des pathologies de manière générale, mais plutôt à des conditions de gestation et de vêlage. L'année 2011 on peut d'ailleurs noter une co-occurrence entre les indicateurs « mortalité » et « état général », cela peut signifier que le déséquilibre relevé sur l'indicateur mortalité peut être lié à des vêlages difficiles (vu sur la figure ci-contre) qui ont affecté l'état de santé des veaux.

On remarque également que des déséquilibres sur les indicateurs « omphalite » et « respiratoire » s'accompagnent systématiquement de déséquilibre sur l'indicateur « digestif ». Il pourrait donc être intéressant de s'intéresser aux liens qui pourraient exister entre ces pathologies. L'état général des veaux semble lui davantage dépendant de conditions de gestation, de vêlage, voire de conditions d'élevage dans les premiers jours de vie.

S'il demeure aujourd'hui difficile de conclure sur la pertinence de chaque indicateur, on peut cependant émettre l'hypothèse que l'ensemble permet d'approcher un certain suivi de l'équilibre sanitaire des veaux et de le décrire dans le temps. Si la mortalité ne semble pas tellement liée au statut sanitaire des veaux, elle peut cependant donner une certaine indication sur les pratiques de vêlage et/ou d'élevage des vaches tarées gestantes. L'indicateur « digestif » semble être incontournable, représentant plus de 50% des troubles des veaux, et pourrait sans doute être résumé par l'indicateur « diarrhée », réduisant ainsi l'étude à celle des diarrhées septicémiques des veaux. Le suivi de l'indicateur « état général » pourrait être assez complémentaire de « digestif », cependant, il faudrait le modifier en le séparant du suivi des omphalites. A l'issue de cet essai, on pourrait alors prendre la décision de conserver l'indicateur « omphalites » ou pas. Bien que les problèmes respiratoires des veaux soient mineurs comparés aux diarrhées, ils permettent de détecter seuls un signal en 2015.

ANNEXE 21 : Tableau de présentation des périodes à risque de chaque pathologie observée sur Mirecourt

Famille pathologique	Nom Pathologie	Entrée dans la période à risque	Sortie de la période à risque
Autre	Malformation	Naissance	Naissance
	FCO maladie de la langue bleue	-	-
Cutané	Dartres (teigne)	-	-
	Déparasitage externe (poux, dartres, ...)	-	-
	Verrues	-	-
	Abcès	-	-
	Hématome (coup)	-	-
	Gale	-	-
	Plaie ouverte (suite à blessure)	-	-
Digestif	Diarrhée septicémique (déshydratation)	Naissance	Sevrage
	Strongles	Mise à l'herbe	Rentrée en bâtiments
	Coccidies	Date Nais + 15 j	Date Nais + 18 mois
	Entérite diarrhéique	Naissance	36 mois
	Corps étranger	-	-
	Infection nombril	Naissance	Sevrage
	Indigestion	-	-
	Météorisation	Mise à l'herbe	Rentrée en bâtiments
	Diarrhée parasitaire	Mise à l'herbe	Rentrée en bâtiments
	Intoxication alimentaire	-	-
	Occlusion intestinale	-	-

	Coliques	-	-
	Langue de bois	-	-
Général	Mauvais état général (maigre), vitamines	-	-
	Réflexe de succion (Absence)	Naissance	Sevrage
	Tonus	-	-
	Etat dépressif	-	-
	Hernie	-	-
	vitamines	-	-
Intervention humaine	Ecornage	Naissance	Sevrage
	Castration	Naissance	âge 9 mois
	Fouilles appareil génital	-	-
	Soins au vêlage	Autour du vêlage	Autour du vêlage
	Euthanasie	-	-
	Soins après césarienne	Autour du vêlage	Autour du vêlage
	Ablation ou perte de cornes (accident)	-	-
	Césarienne	Autour du vêlage	Autour du vêlage
Locomoteur	Boiterie (mal aux pieds)	-	-
	Panaris	-	-
	Entorse	-	-
	Limace	-	-
	Ulcère typique (cerise)	-	-
	Boiterie (accident)	-	-
	Lymphangite (inflammation des jarrets)	-	-
	Accident	-	-

	Arthrite	-	-
	Distention ou déchirure de ligaments	-	-
	Fourbure	-	-
	Décollement de la ligne blanche	-	-
	Fracture	-	-
	Hygroma (gros genou)	entrée étable	mise à l'herbe
Mamelle	Tarissement	Tarissement (fin de lactation)	Tarissement (fin de lactation)
	Mammite	Première lactation	Réforme
	Mammite subclinique - Cellules	Début lactation n	Fin lactation n
	Blessure mamelle, oedème mammaire	Première lactation	Réforme
	Hémolactation (sang dans le lait)	Début lactation n	Fin lactation n
	Rétention laitière	Début lactation n	Fin lactation n
	Trayon obstrué	Début lactation n	Fin lactation n
Métabolique	Fièvre vitulaire	Vêlage - 24h	Vêlage + 48h
	Acidose	-	-
Nerveux	Encéphalite	-	-
	Méningite (troubles nerveux)	-	-
Occulaire	Kératite	-	-
Reproducteur	Aide aux chaleurs	Mise à la reproduction	Fin de période de reproduction
	Métrite	Vêlage n	Fin de période de reproduction n+1
	Non délivrance (rétention placentaire)	Vêlage	Vêlage + 10 j
	PGF2	Mise à la reproduction	Fin de période de

			reproduction
	Vaginite	Vêlage n	Fin de période de reproduction n+1
	Déchirure au moment du vêlage	Vêlage	Vêlage
	Pose Kamar	Mise à la reproduction	Fin de période de reproduction
	Avortement	Mise à la reproduction	Mise à la reproduction + 1 an
	Kyste ovarien	Vêlage n	Fin de période de reproduction n+1
	Œdème de la vulve	-	-
Respiratoire	Bronchite (coup de froid)	Début hiver	Fin hiver
	Grippe	Début hiver	Fin hiver
	Strongles pulmonaires	Mise à l'herbe	Entrée en bâtiments
	Bronchite vermineuse	Mise à l'herbe	Entrée en bâtiments
	Pneumonie	-	-
	Pleurésie	-	-

ANNEXE 22 : Un témoignage d'éleveur Bio qui nous parle d'équilibre sanitaire

« Le mouton est fragile, y a plein de maladies, y a plein de trucs... faut pas que ça dépasse un seuil critique... plus la bête se défend, plus elle est solide, et moins elle est atteinte, moins elle est attaquée. C'est pour ça que l'équilibre est dur à trouver parce que c'est l'alimentation, surtout son état corporel, qui fait qu'elle va pouvoir faire face ou pas. Si on lui tire sur la couenne, qu'on ne la nourrit pas ou mal en qualité, elle va ramasser tout ce qui traîne » (EB15).

Extrait de Nicourt et Cabaret, 2011.

Cet éleveur souligne un équilibre qui s'opère entre l'animal, ses capacités à se défendre contre les agressions, favorisées par une bonne alimentation, et les agressions extérieures qui nuisent à sa santé comme les pathogènes mais aussi des pratiques d'élevage qui demandent un effort de production non négligeable à l'animal. L'éleveur mentionne aussi l'existence d'un « seuil critique », un point de bascule qui marque la frontière entre l'équilibre et le déséquilibre, entre le sain et le pathologique. Cela renforce l'idée que l'état « sain » n'est pas défini comme l'absence de tout pathogène, mais comme un état stable permis par de nombreuses interactions entre l'animal et les facteurs qui influencent son état de santé.

ANNEXE 23 : Schéma général de la démarche

Recherche bibliographique

- Notion d'équilibre sanitaire
- Outils et méthodes en statistiques et modélisation pour étudier l'équilibre sanitaire
- Indicateurs pertinents pour étudier l'équilibre sanitaire du troupeau d'ASTER



Problématisation et formulation des hypothèses (voir p.20 et encadré 14)

Sur la définition de l'équilibre et du déséquilibre en santé des troupeaux
H1 à H5

Sur la démarche méthodologique à adopter pour étudier l'équilibre sanitaire d'un troupeau
H6

Sur les indicateurs de l'équilibre sanitaire des troupeaux bovins laitiers biologiques
H7 à H9



Conception et application de la méthode sur l'élevage de Mirecourt

- Etape 1 : sélection des indicateurs de l'équilibre spécifique du troupeau d'étude à partir de la BDD de Mirecourt.
- Etape 2 : construction des vecteurs « population à risque » et « occurrences » de chaque indicateur (approche épidmiologique).
- Etape 3 : détermination du pas de temps de l'étude (le jour – le mois – l'année).
- Etape 4 : détermination du modèle statistique adéquat pour modéliser chaque indicateur (lois : binomiale – Poisson – binomiale négative).
- Etape 5 : calcul des paramètres de chaque modèle et détermination de la probabilité et de l'espérance des occurrences de chaque indicateur.
- Etape 6 : Représentation graphique et identification des périodes d'équilibre et de déséquilibre sur chaque indicateur grâce à un intervalle de confiance à 95%.



Résultats

Une synthèse bibliographique sur le concept d'équilibre sanitaire et une proposition de définition pratique

Une méthodologie pour étudier, objectiver et caractériser l'équilibre sanitaire d'un troupeau rétrospectivement sur une période de temps donnée

Une sélection d'indicateurs pour étudier l'équilibre sanitaire du troupeau bovin lait bio de Mirecourt

Une description des périodes d'équilibre /déséquilibre sanitaire du troupeau bovin lait bio de Mirecourt sur la période d'étude

Des hypothèses sur les potentiels facteurs de l'équilibre et du déséquilibre du troupeau bovin lait de Mirecourt

ANNEXE 24 : Evaluation du stage

Stage Recherche
Année 2016

FICHE D'APPRECIATION DU MAITRE DE STAGE

Nom de l'ÉLÈVE : **LE BRIS TIPHAÏMÉ**
Nom du MAÎTRE DE STAGE : **VOURCH GUENAEÏ**

Patrice GASOUIZ

APRES 1 MOIS DE STAGE

	VOS OBSERVATIONS	VOTRE EVALUATION (1)				
		TB	B	AB	M	I | F
SAVOIRS Connaissances théoriques générales Connaissances pratiques générales Connaissances méthodologiques et techniques Connaissances linguistiques (international)	Très bon niveau de savoir. Apporte beaucoup à la problématique					
SAVOIRS FAIRE Capacité à conduire un projet Capacité d'enquête, d'étude Capacité de mise en œuvre de méthodes et d'outils Capacité de communication Rigueur	Au très bon niveau, très organisée, capacité d'apprentissage					
SAVOIR ETRE Ouverture d'esprit Capacité d'adaptation Capacité d'écoute Ponctualité, politesse Esprit d'initiative Esprit critique Capacité à faire des propositions Capacité à travailler en équipe	Relationnel très facile, à l'écoute, clair, force de proposition					
Appréciation globale sur le stage :						
Quelles sont les 3 qualités principales de cet(te) étudiant(e) ?	- force de proposition - accueil - connaissance de la problématique					

(1) TB : "Très bien", B : "Bien", AB : "Assez bien", M : "Moyen", I : "Insuffisant", ou F : "Faible".

Autres observations / suggestions :

APRES 3 MOIS DE STAGE

	VOS OBSERVATIONS	VOTRE EVALUATION (1)				
		TB	B	AB	M	I | F
	Très bon niveau de connaissance et de réflexion.					X
	Très bonne capacité d'organisation, de gestion de projet et d'animation.					X
	Très bon relationnel, force et constructif.					X
	Super !					X
	- Réflexion esprit critique - analyse - implication - capacité d'apprentissage					

Date et signature et cachet :

21/07/2016

G. VOURCH

Directrice de l'Unité de Recherche
D'épidémiologie Animale

