

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE, AGROALIMENTAIRE
ET DE L'ALIMENTATION NANTES ATLANTIQUE - ONIRIS

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**

THESE
pour le
diplôme d'Etat
de
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement
le 23 septembre 2015
devant
la Faculté de Médecine de Nantes
par

Camaldine, Hélène CAMARA

Né(e) le 2 octobre 1988 à Les Lilas (93)

JURY

Président : Monsieur Patrick LUSTENBERGER
Professeur de la faculté de Médecine de Nantes

Membres : Madame Nathalie BAREILLE, Professeur à ONIRIS
Monsieur Aurélien Madouasse, Maître de Conférences à ONIRIS

ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DE ONIRIS

Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique

Directrice Générale : Dominique BUZONI-GATEL

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE, PATHOLOGIE ET SCIENCES DE L'ALIMENT		
NUTRITION et ENDOCRINOLOGIE	Patrick NGUYEN (Pr) Henri DUMON (Pr)	Brigitte SILIART (Pr) Lucile MARTIN (Pr)
PHARMACOLOGIE et TOXICOLOGIE	Yassine MALLEM (MCC) Martine KAMMERER (Pr)	Hervé POULIQUEN (Pr) Jean-Claude DESFONTIS (Pr)
PHYSIOLOGIE FONCTIONNELLE, CELLULAIRE et MOLECULAIRE	Lionel MARTIGNAT (MC) Jean-Marie BACH (Pr)	Grégoire MIGNOT (MC) Julie HERVE (MC)
HISTOLOGIE ET ANATOMIE PATHOLOGIQUE	Jérôme ABADIE (MC)	Frédérique NGUYEN (MC) Marie-Anne COLLE (MC)
PATHOLOGIE GENERALE, MICROBIOLOGIE et IMMUNOLOGIE	François MEURENS (Pr) Jean-Louis PELLERIN (Pr)	Hervé SEBBAG (MC) Emmanuelle MOREAU (MC)
BIOCHIMIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Laurent LE THUAUT (MC) Thierry SEROT (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Carole PROST (Pr) Florence TEXIER (MC) Mathilde MOSSER (MCC) Clément CATANEO (MC)
MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Xavier DOUSSET (Pr) Bénédicte SORIN (Chef de travaux) Bernard ONNO (MC)	Hervé PREVOST (Pr) Emmanuel JAFFRES (MC) Nabila BERREHRAH-HADDAD (MC)
DEPARTEMENT DE SANTE DES ANIMAUX D'ELEVAGE ET SANTE PUBLIQUE		
HYGIENE ET QUALITE DES ALIMENTS	Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Catherine MAGRAS-RESCH (Pr)	Eric DROMIGNY (MC) Marie-France PILET (MC) Jean-Michel CAPPELIER (Pr)
MEDECINE DES ANIMAUX D'ELEVAGE	Arlette LAVAL (Pr émérite) Catherine BELLOC (MC) Isabelle BREYTON (MC) Christophe CHARTIER (Pr)	Alain DOUART (MC) Sébastien ASSIE (MC) Raphaël GUATTEO (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MCC)
PARASITOLOGIE GENERALE, PARASITOLOGIE DES ANIMAUX DE RENTE, FAUNE SAUVAGE et PATHOLOGIE AQUACOLE	Monique L'HOSTIS (Pr) Alain CHAUVIN (Pr) Albert AGOULON (MC))	Guillaume BLANC (MC) Ségoène CALVEZ (MC) Suzanne BASTIAN-ORANGE (MC)
MALADIE REGLEMENTEE, REGLEMENTATION SANITAIRE ZONOSSES	Jean-Pierre GANIERE (Pr émérite) Carole PEROZ (MC)	Nathalie RUVOEN-CLOUET (MC)
ZOOTECHE	Aurélien MADOUASSE (MCC) Xavier MALHER (Pr) François BEAUDEAU (Pr)	Christine FOURICHON (MC) Nathalie BAREILLE (Pr)
DEPARTEMENT DE SCIENCES CLINIQUES		
ANATOMIE COMPAREE	Eric BETTI (MC)	Claire DOUART (MC) Claude GUINTARD (MC)
CHIRURGICALE, ANESTHÉSIOLOGIE	Olivier GAUTHIER (Pr) Béatrice LIJOUR (MC) Eric AGUADO (MC) Caroline TESSIER (MC)	Gwenola TOUZOT-JOURDE (MCC) Olivier GEFFROY (Pr) Eric GOYENVALLE (MC) Pr Pierre BARREAU (Pr A)
PARASITOLOGIE, AQUACULTURE, FAUNE SAUVAGE	Patrick BOURDEAU (Pr)	Vincent BRUET (MCC)
MEDECINE INTERNE, IMAGERIE MÉDICALE et LEGISLATION PROFESSIONNELLE	Yves LEGEAY (Pr) Dominique FANUEL (Pr) Anne COUROUCE-MALBLANC (MC) Catherine IBISCH (Dr) Nicolas CHOUIN (MC)	Marion FUSELLIER-TESSON (MC) Jack-Yves DESCHAMPS (MC) Odile SENECAAT (MC) Françoise ROUX (MC)
BIOTECHNOLOGIES et PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION	Daniel TAINURIER (Pr) Francis FIENI (Pr) Jean-François BRUYAS (Pr)	Lamia BRIAND-AMIRAT (MC) Djemil BENCHARIF (MC)

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES ALIMENTAIRES

Lionel BOILLEREAUX (Pr)
Dominique COLIN (MC)
Sébastien CURET PLOQUIN (MC)
Marie DE LAMBALLERIE (Pr)
Dominique DELLA VALLE (MC)
Francine FAYOLLE (Pr)
Michel HAVET (Pr)
Dr TOUBLANC Cyril (MC)

Vanessa JURY (MC)
Alain LEBAIL (Pr)
Catherine LOISEL (MC)
Jean-Yves MONTEAU (MC)
Denis PONCELET (Pr)
Olivier ROUAUD (MC)
Laurence POTTIER (MC)

DEPARTEMENT DE MANAGEMENT, STATISTIQUE ET COMMUNICATION

MATHEMATIQUES, STATISTIQUES - INFORMATIQUE

Véronique CARIOU (MC)
Philippe COURCOUX (MC)
El Mostafa QANNARI (Pr)

Michel SEMENOU (MC)
Chantal THORIN (PCEA)
Evelyne VIGNEAU (Pr)

ECONOMIE – GESTION – LEGISLATION

Pascal BARILLOT (MC)
Yvan DUFEU (MC)
Florence BEAUGRAND (MC)

Jean-Marc FERRANDI (Pr)
Sonia EL MAHJOUR (MC)
Samia ROUSSELIERE (MC)
Sybille DUCHAINE (MC)

COMMUNICATION - LANGUES

Franck INSIGNARES (PCEA)
Linda MORRIS (PCEA)
David GUYLER (PCEA)

Marc BRIDOU (PCEA)
Shaun MEEHAN (PCEA)
Fabiola ASENCIO (PCEA)

Pr : Professeur,

Pr A : Professeur Associé,

Pr I : Professeur Invité,

MC : Maître de Conférences,

MCC : Maître de Conférences Contractuel,

AERC : Assistant d'enseignement et de recherches,

PLEA : Professeur Lycée Enseignement Agricole,

PCEA : Professeur certifié enseignement agricole

La reproduction d'extraits est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée comme suit :

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, 109p.

Le défaut de citation est considéré comme du plagiat. Ce dernier est puni par la loi française et passible de sanctions allant jusqu'à 3 ans d'emprisonnement et 300 000€ d'amende.

REMERCIEMENTS

A Monsieur Patrick Lustenberger,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Aurélien Madouasse,

Mon directeur de thèse, pour son soutien, sa pédagogie et son aide dans la réalisation de ce travail.

Sincères remerciements.

A Madame Nathalie Bareille,

Qui a accepté de participer à mon jury de thèse et pour son aide dans la réalisation de ce travail.

Sincères remerciements.

A Monsieur François Beaudeau,

Qui a accepté d'être dans mon jury de mémoire.
Sincères remerciements.

A Monsieur Didier Raboisson,

Pour avoir accepté de partager ses données concernant les élevages biologiques.
Sincères remerciements.

A Madame Anne Lehébel,

Pour son aide dans la réalisation de ce travail.
Sincères remerciements.

A toutes les personnes « du couloir de zoot »,

Merci pour votre chaleureux accueil et votre aide.

A ma mère, pour tout ce que tu m'as apporté, pour ton courage et pour tout ce que tu as fait pour que j'en arrive à là. Merci !!!

A toute ma famille, spécialement à :

- **Toute la famille Fall**, merci pour votre soutien dans toutes les épreuves, pour votre présence dans les bons moments comme dans les plus durs.
- **A Joël et Odette** merci pour tout, et surtout de me faire voyager à travers vos photos, spécialement quand j'étais bloquée derrière un ordi merci !
- **Amy**, cesse de t'inquiéter pour moi et prend ton envol, comme il se doit bien sûr !!

A Chloé, ma sœur de cœur, merci pour ta positive attitude quelles que soient les conditions...merci de me booster dans les meilleurs moments comme dans les pires !!!

A Audrey et Elise, merci de m'avoir toujours soutenue depuis le début!! Et comme le dit si bien Elise...CARPE DIEM !!!

A Marion et Grégory, vous êtes des amis avec un grand A. Merci d'être la deuxième famille d'Ivoire. Merci de réparer mes bêtises et celles de mes animaux !!!

A Louise la première à devenir maman...grand moment ! Il est loin le temps où l'on mangeait des olives et du saucisson en revenant du Calysto !! Bienvenu au petit Robin, prépare le à lire cette thèse pour ses 18 ans, ce sera son rite initiatique !!

A Magali, pour ta vision des choses, ta capacité à relativiser toutes les situations...ça fait du bien !!!

A Marine, on s'est rencontrée en prépa, tu n'as pas changé depuis, reste comme tu es...et n'oublie pas tes rêves et fait tous pour les réaliser!!

A Alexis, merci pour le résumé in English ! Et bien sûr merci pour tout le reste, t'es vraiment un super ami !

A Benoit, et Anaïs, mes ex-colocs, vous me manquez on était trop bien entre teigneux !!! Anaïs chouchoute bien Kiwi et ses deux neurones. Benoit tu resteras toujours mon bisounours préféré.

A Katila, pour nos soirées de début de 5A autour d'une bière ou d'un cidre rosé, c'était trop cool, même si ce sera moins souvent il faudra persister dans cette voie !

A toute la Team Raclette, pour tous nos délires au cours de ces 5 années, il faudra perpétuer la coutume raclette.

A Sophie, Marion, Flora, Aurore et Cyndie, heureusement que vous étiez là pour cet été de la thèse..!

A Audrey et Paulinou, vous allez me manquer, que le bonheur soit avec vous !

A tous les vétérinaires qui ont pris le temps de me former. Spécialement Alain, Ben et Sandrine, merci pour les stages et pour tous les moments passés ensemble, promis je ne ferai plus de dégâts dans la maison! Merci aussi à Philippe, pour le coté véto comme pour le reste.

A mon père...cette thèse très mathématique finalement...elle est pour toi !

Table des matières

INTRODUCTION	17
I. ETAT DES LIEUX DE LA NOTION D'ETAT D'EQUILIBRE SANITAIRE ET INDICATEURS SUSCEPTIBLES D'EVALUER CET ETAT	19
A. ETUDE DE LA NOTION D'EQUILIBRE	19
a) Définition d'un « état d'équilibre »	19
b) Notions d'état d'équilibre dans des domaines autres que l'élevage	19
c) Notion d'état d'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier biologique	23
a. L'élevage bovin laitier biologique en tant que système de production	23
b. L'élevage bovin laitier biologique : un système à la recherche de l'état d'équilibre	26
B. INDICATEURS ISSUS DES DONNEES DE PRODUCTION, DE REPRODUCTION ET DE DEMOGRAPHIE POUVANT CARACTERISER L'ETAT D'EQUILIBRE SANITAIRE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER	30
a) Indicateurs de santé mammaire	30
b) Indicateurs de santé métabolique	33
a. Le TB/TP comme indicateur d'acidose ruminale sub-aigue	33
b. Le TB/TP comme indicateur de cétose sub-clinique	34
c. Le TB comme indicateur d'ARSA	35
d. Le TP comme indicateur métabolique	35
c) Indicateurs démographiques	35
d) Indicateurs de reproduction	37
e) Indicateurs de production laitière	40
C. DEFINITION D'UN ETAT D'EQUILIBRE OU DE DESEQUILIBRE SANITAIRE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER	41
II. ETUDE STATISTIQUE DES DONNEES DE DEMOGRAPHIE, DE REPRODUCTION ET DE PRODUCTION LAITIERE POUR L'IDENTIFICATION ET LA CARACTERISATION D'ETATS D'EQUILIBRE ET DE DESEQUILIBRE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER	43
A. CONTEXTE ET OBJECTIFS	43
B. MATERIELS ET METHODES	43
a) Période d'étude et bases de données utilisées	43
b) Population et échantillon d'étude	44
c) Traitement des données et mode de calcul des indicateurs	44
a. Equations des indicateurs calculés	45
b. Mode de calcul des indicateurs de santé mammaire	46
c. Mode de calcul des indicateurs de santé métabolique	48
d. Mode de calcul des indicateurs de longévité	49
e. Mode de calcul des indicateurs de démographie	49
f. Mode de calcul des indicateurs de reproduction	52
g. Mode de calcul des indicateurs de production laitière	56
h. Format des données utilisées pour l'ACP	57
d) Caractérisation statistique des états d'équilibre	57
a. L'analyse en composantes principales	57
b. Calculs et étude des barycentres de chaque élevage	58
c. Classification ascendante hiérarchique appliquée aux élevages en état de déséquilibre sanitaire	58
III. RESULTATS	59
A. DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON ETUDIE	59
B. RESULTATS DE L'ACP	60
a) Qualité du résumé du jeu de données initial réalisé par l'ACP	60
b) Nombre de dimensions issues de l'ACP à conserver	60
c) Qualité de la représentation des individus	61
d) Qualité de représentation des variables et des corrélations entre indicateurs	62
e) Description des dimensions par les indicateurs	64
f) Description des dimensions à l'aide de la variable « biologique ou conventionnel »	74
g) Bilan de l'ACP	75
C. RESULTATS DE L'ETUDE DES BARYCENTRES DE CHAQUE ELEVAGE	77
a) Définition des élevages en états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire	77

b)	<i>Application de la classification ascendante hiérarchique aux élevages en état de déséquilibre sanitaire : mise en évidence de profils</i>	78
c)	<i>Caractérisation des élevages en état de déséquilibre sanitaire</i>	80
d)	<i>Bilan sur les résultats issus de l'étude des barycentres</i>	83
D.	BILAN DES RESULTATS	83
IV.	DISCUSSION ET PERSPECTIVES	85
A.	UNE DESCRIPTION ORIGINALE DES ETATS D'EQUILIBRE ET DE DESEQUILIBRE SANITAIRE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER 85	
B.	DISCUSSION A PROPOS DES MATERIELS ET METHODES	86
a)	<i>Choix des bases de données et des périodes d'études</i>	86
b)	<i>Critères de sélections des élevages</i>	86
c)	<i>Traitements des données, calcul des indicateurs et applications statistiques</i>	87
C.	DISCUSSION CONCERNANT LES RESULTATS OBTENUS.....	88
a)	<i>Discussion concernant des résultats obtenus suite à l'ACP</i>	88
b)	<i>Discussion concernant les résultats de l'étude des distances annuelles des élevages à leur barycentre</i>	88
c)	<i>Discussion concernant la CAH des élevages présumés en état de déséquilibre sanitaire</i>	89
D.	PERCEPTIVES	89
	CONCLUSION	91
	BIBLIOGRAPHIE	93

Liste des tableaux

Tableau 1 : Définitions de l'équilibre dans des domaines autres que l'élevage.....	20
Tableau 2 : Sensibilité et spécificité de trois seuils de CCS individuelles utilisés pour la détection des mammites autour du tarissement.....	31
Tableau 3 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de santé mammaire	32
Tableau 4 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de démographie.....	36
Tableau 5 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de reproduction.....	38
Tableau 6 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de production laitière	40
Tableau 7 : Mode de calcul des indicateurs de santé mammaire	47
Tableau 8 : Mode de calcul des indicateurs de santé métabolique.....	48
Tableau 9 : Mode de calcul des indicateurs de longévité	49
Tableau 10 : Mode de calcul des indicateurs de démographie relatifs au troupeau laitier	50
Tableau 11 : Mode de calcul des indicateurs de démographie relatifs aux veaux et au pré-troupeau laitier	51
Tableau 12: Mode de calcul des indicateurs associés à l'âge au premier vêlage	52
Tableau 13 : Mode de calcul des indicateurs associés à l'IVV et à l'IVIA1	53
Tableau 14 : Mode de calcul des indicateurs associés aux IVIAf.....	54
Tableau 15 : Mode de calcul d'autres indicateurs associés aux IAF.....	55
Tableau 16 : Mode de calcul des indicateurs de production laitière	56
Tableau 17 : Exemple de tableau récapitulant les valeurs de chaque indicateur par élevage et par année.....	57
Tableau 18 : Caractéristiques générales des 2000 élevages entrant dans l'étude en 2006, 2007 et 2008.....	60
Tableau 19 : Evaluation de la qualité de projection des individus dans les espaces à 7, 20 et 30 dimensions.....	62
Tableau 20 : Résultats du test de Fisher appliqué à la variable « type d'élevage » vis-à-vis des coordonnées des élevages pour chacune des sept premières dimensions.....	74
Tableau 21 : Résultats obtenus de l'ACP réalisée à partir de 95 indicateurs de 2000 élevages en 2006, 2007 et 2008	76

Liste des figures

Figure 1 : L'élevage bovin laitier biologique, un système de production intégrant sol, plante et animal.....	25
Figure 2 : De l'équilibre de l'exploitation à la stabilité de l'élevage : place de l'équilibre sanitaire	27
Figure 3 : L'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier, un équilibre fondé sur plusieurs paramètres en interaction entre eux.....	29
Figure 4 : Répartition géographique des 2000 troupeaux bovins laitiers français étudiés.....	59
Figure 5 : Pourcentage d'inertie associé à chaque dimension	61
Figure 6 : Projection des indicateurs les mieux représentés par les dimensions 1 et 2*.....	63
Figure 7 : Projection des indicateurs les mieux représentés par les dimensions 1 et 3.....	64
Figure 8 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 1	65
Figure 9 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 1.....	65
Figure 10 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 2	66
Figure 11 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 2	67
Figure 12 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 3	68
Figure 13 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 3	68
Figure 14 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 4	69
Figure 15 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 4	69
Figure 16 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 5	70
Figure 17 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 5	71
Figure 18 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 6	72
Figure 19 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 6	72
Figure 20 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 7	73
Figure 21 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 6	74
Figure 22 : Distribution des écarts-types des distances euclidiennes des élevages-années aux barycentres des élevages pour les 30 premières dimensions de l'ACP*.....	77
Figure 23 : Diagramme des inerties de l'arbre hiérarchique issu de la CAH.....	78
Figure 24 : Arbre de classification des élevages en état de déséquilibre sanitaire	79
Figure 25 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage le plus proche du centre de gravité de la classe 1.....	80
Figure 26 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage de la classe 1 le plus éloigné de la classe 2	80
Figure 27 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage le plus proche du centre de gravité de la classe 2.....	82
Figure 28 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage de la classe 2 le plus éloigné de la classe 1	82

Liste des annexes

Annexe 1 : Extrait du RÈGLEMENT (CE) No 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008 – Réglementation européenne concernant l'Agriculture Biologique (CCE 2008)	97
Annexe 2 : Aide à l'interprétation du pourcentage d'inertie expliqué par les 30 premières dimensions d'une ACP.....	99
Annexe 3 : Nom des indicateurs et leur définition.....	101
Annexe 4 : Valeurs propres, pourcentage d'inertie et pourcentage d'inertie cumulée des 31 premières dimensions de l'ACP	104
Annexe 5 : Résultats de la CAH, description des 3 premières classes.....	105

Liste des abréviations et sigles

ACP : Analyse en Composantes Principales
AGNE : Acides Gras Non Estérifiés
AGV : Acides Gras Volatils
ARSA : Acidose Ruminale Sub Aigüe
BDNI : Base de Données Nationale d'Identification
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CL : Contrôle Laitier
CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales
CCS : Concentration en Cellules Somatiques (cellules/mL)
CTIG : Centre de Traitement de l'Information Génétique
EDE : Etablissement Départemental de l'Elevage
DGAL : Direction Générale de l'Alimentation
IA = Insémination Artificielle
IA1 = Insémination Artificielle numéro 1
IAf = Insémination Artificielle fécondante
IIA1IAf = Intervalle IA1 – IAf (en jours)
IAf1 = Insémination Artificielle fécondante = première insémination
IVIA1 = Intervalle Vêlage – première Insémination Artificielle (en jours)
IIA1IAf = Intervalle IA1 – IAf (en jours)
IVIAf = Intervalle Vêlage – Insémination Artificielle fécondante
IVV = Intervalle Vêlage - Vêlage
TB = Taux Butyreux dans le lait
TP = Taux Protéique dans le lait
VLHP = Vaches Laitières Hautes Productrices
VLP = Vaches Laitières Présentes

Introduction

Que le mode d'élevage soit biologique ou conventionnel, les éleveurs doivent optimiser les conditions de vie des animaux afin d'assurer une production permettant de dégager un revenu, tout en respectant la santé, le bien-être des animaux et l'environnement. Dans cette optique, l'« état d'équilibre sanitaire » est fréquemment mis en avant comme objectif à atteindre en élevage biologique, notamment dans les publications se rapportant à l'état de santé global de ce type d'élevages (Experton 2014). Ce concept est également diffusé par certains vétérinaires ayant beaucoup d'éleveurs biologiques dans leur clientèle. D'après eux, atteindre l'état d'équilibre sanitaire en élevage nécessite la maîtrise des facteurs de risques sanitaires. Cet état d'équilibre sanitaire, s'il est atteint, serait ainsi le garant de la bonne santé de l'élevage, la prévention des maladies étant assurée (Patout 2014; Fric n.d.). Ce concept est peu connu en élevage conventionnel. Cependant depuis 2009, certains Groupements de Défense Sanitaire tel que celui du Puy-de-Dôme le mettent en valeur (Rolle 2009).

La notion d'état d'équilibre sanitaire, si elle est largement répandue dans le milieu de l'élevage biologique, n'en est pas moins mal définie. Denis Fric, vétérinaire praticien en clientèle biologique, indique sur son blog, que le respect de la réglementation européenne concernant l'élevage biologique, ou du moins de l'ancien Cahier des Charges (abrogé en 2000 (J. LEROUX et al. 2009)), permettrait d'atteindre l'équilibre global de l'élevage. De plus il considère que les premiers signes de déséquilibre sanitaire au sein d'un élevage sont les signes cliniques exprimés par l'animal. Un séminaire qui s'est tenu en juillet 2013 (INRA & ITAB 2013), réunissant des vétérinaires et des chercheurs dont le sujet était la santé globale en élevage, avait pour but de définir la notion d'équilibre sanitaire en élevage, comment le mesurer, l'atteindre et le maintenir. Il en est ressorti que cette notion est extrêmement subjective et est essentiellement basée sur le bien-être de l'éleveur et de ses animaux. Si le bien-être des animaux tend désormais à s'objectiver grâce à l'établissement d'indicateurs (De Vries et al. 2011; Coignard 2013), le bien-être des éleveurs est difficilement objectivable actuellement. Les éleveurs estiment aussi que l'état d'équilibre sanitaire ne peut-être que dynamique et qu'il est la résultante de l'adaptation de l'élevage aux contraintes qui lui sont imposées. L'équilibre global d'un élevage ne pourrait donc pas être caractérisé par sa stabilité dans le temps. Qu'en est-il de l'équilibre sanitaire d'un élevage ? Au cours de ce séminaire, il a aussi été relevé que l'équilibre n'était pas nécessairement un « bon » équilibre, c'est-à-dire que l'équilibre dans lequel se trouve l'élevage peut ne pas correspondre aux objectifs de l'éleveur.(INRA & ITAB 2013) Mais cela entre alors en contradiction avec le bien-être de l'éleveur. En effet si dans ce cadre l'élevage est en équilibre, il ne répond cependant pas aux attentes de l'éleveur...Nous pouvons donc constater qu'aucun critère objectif n'a été jusque-là mis en évidence afin de définir ce qu'était l'état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier.

Ainsi l'objectif de ce travail est de caractériser épidémiologiquement les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires des élevages bovins laitiers conventionnels et biologiques grâce aux données de production, de reproduction et de démographie en :

- Réalisant un état des lieux de la notion d'équilibre sanitaire et des indicateurs susceptibles d'évaluer cet état
- Résumant l'information contenue dans ces indicateurs afin de caractériser plus simplement chaque élevage.
- Caractérisant les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires en contrastant les élevages ayant des caractéristiques qui évoluent beaucoup de ceux qui ont des caractéristiques qui évoluent peu au cours du temps.

I. Etat des lieux de la notion d'état d'équilibre sanitaire et indicateurs susceptibles d'évaluer cet état

Nous l'avons vu précédemment, la notion d'équilibre sanitaire n'est pas clairement définie autrement qu'à travers le bien-être des éleveurs et des animaux. Le but de cette partie est de mettre en évidence les caractéristiques de la notion d'équilibre dans d'autres domaines que l'élevage afin d'en définir les contours et de poser les bases de notre approche pour l'identification d'états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires en élevage bovin laitier. En effet, la notion d'équilibre est retrouvée dans de nombreux domaines tels que la biologie, la physique, la chimie, la psychologie... Une fois les caractéristiques de l'état d'équilibre mises en évidence, les indicateurs permettant de mesurer cet état seront détaillés.

A. Etude de la notion d'équilibre

a) Définition d'un « état d'équilibre »

Le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL) définit la locution « En équilibre » ainsi :

« Dans une position parfois difficile, précaire, mais stable. »(CNRTL 2015)

Il est également souligné que cet état n'est pas forcément atteignable, en effet le philosophe Antoine-Augustin Cournot écrit :

« On expliquerait (...) l'impossibilité physique, admise par tout le monde, de mettre un cône pesant en équilibre sur sa pointe, quoique l'équilibre soit mathématiquement possible » (Cournot 1975)

De ce fait un état d'équilibre correspond à un état constant, au moins vérifiable en théorie, sans pour autant l'être dans la pratique. Il ne ressort de cette définition aucune notion de dynamisme, contrairement au point de vue des éleveurs sur le sujet (INRA & ITAB 2013). Il semble donc nécessaire que la notion de stabilité soit tout de même incluse à la définition de l'état d'équilibre sanitaire.

b) Notions d'état d'équilibre dans des domaines autres que l'élevage

Le CNRTL propose, en fonction du domaine technique concerné, plusieurs définitions du terme « équilibre ». Dans le tableau 1 sont rapportées seulement les définitions provenant du site du CNRTL permettant de nous aider à définir ce qu'est un « état d'équilibre sanitaire » en élevage bovin laitier.

Tableau 1 : Définitions de l'équilibre dans des domaines autres que l'élevage

Domaines concernés	Définition (CNRLT 2015)	Commentaires
Biochimie et physiologie	« <i>Fait, pour plusieurs constituants d'un corps, d'être en proportion constante; (...) état d'un corps dont les constituants restent en proportion constante.</i> »	Cette définition met en évidence qu'un système est à l'équilibre lorsque tous les compartiments qui le constituent sont proportionnels les uns aux autres et le restent. Ce système peut changer de taille, il restera en équilibre si ses compartiments gardent les mêmes rapports de proportions entre eux. Ainsi en élevage, si l'on considère que le troupeau et le logement forment un système, il est nécessaire, si l'éleveur veut agrandir son cheptel, que le bâtiment soit agrandi en conséquence. En effet, agrandir le cheptel sans agrandir les bâtiments est un facteur de risque important vis-à-vis de la multiplication et de la transmission des agents pathogènes dans le cas des mammites par exemple. A l'inverse agrandir une nurserie de façon disproportionnée par rapport au nombre de veaux au sein d'un élevage peut conduire à une mauvaise ventilation des bâtiments pouvant engendrer de lourds problèmes respiratoires chez les veaux.
Biologie et écologie	« <i>Situation dans laquelle les interactions entre la flore et la faune, le sol et la végétation d'un milieu donné sont telles que la structure et le fonctionnement de ce milieu restent constants.</i> »	Dans cette définition, la notion de cycle est mise en évidence : tout ce qui sort d'un compartiment de l'écosystème entre dans un autre compartiment de ce même écosystème. Cette notion est retrouvée en élevage biologique : les cultures de l'exploitation sont principalement destinées à l'alimentation des animaux et les animaux produisent des effluents destinés principalement à la fertilisation de ces mêmes cultures. Ces échanges entre compartiments doivent rendre le système autonome et stable.
Démographie	« <i>Situation dans laquelle la population d'un pays est en harmonie avec les ressources du pays considéré.</i> »	Il ressort de cette définition que l'équilibre d'un système est caractérisé par la capacité de ce système à s'auto-entretenir. Cette capacité est généralement recherchée en élevage, notamment biologique (J. LEROUX et al. 2009)

Domaines concernés	Définition (CNRLT 2015)	Commentaires
Intellectuel et moral	« <i>État du cœur et de l'esprit quand aucun trouble intérieur ou extérieur ne gêne leur fonctionnement normal.</i> »	L'état d'équilibre est défini ici tel que cet état correspond au fonctionnement d'un système lorsqu'aucun aléa ne peut modifier son fonctionnement. Cela signifie qu'un système à l'équilibre peut tolérer un certain niveau de perturbation sans en être affecté. En élevage, on peut observer cela avec le parasitisme : vis-à-vis de certains parasites, comme <i>Ostertagia ostertagi</i> , parasite de la caillette chez les bovins, un équilibre s'établit entre le parasite et son hôte. En effet une immunité concomitante se met en place chez les bovins : il est nécessaire que parasites et bovins restent un minimum en contact pour qu'une immunité se développe et perdure. Ainsi, une fois cette immunité développée, les bovins peuvent tolérer un certain niveau de parasitisme sans en être affectés : parasites et bovins sont en équilibre.(Chauvin et al. 2014)
Mécanique et physique	« <i>Fait, pour plusieurs forces ou actions agissant sur un système, de se contrebalancer exactement, ne modifiant en rien son état de repos ou de mouvement</i> »	Cette définition met en évidence que, lorsqu'un système est à l'équilibre, quel que soient les perturbations internes (par exemple boiterie) ou externe (par exemple introduction du nouvel agent pathogène), le fonctionnement du système ne doit pas en être impacté, d'autres mécanismes compensateurs doivent contrebalancer. Ainsi en élevage, c'est à l'éleveur de mettre en place des actions qui compensent les aléas qui sont susceptibles d'agir sur son élevage et donc de diminuer sa production laitière. En effet la production laitière est l'élément central d'un élevage bovin laitier car elle représente souvent la seule source de revenu.
Physique nucléaire	« <i>État atteint par une substance radioactive dont la désintégration donne un nouveau produit radioactif, lorsque le nombre d'atomes formés pendant chaque intervalle de temps est égal au nombre d'atomes disparus</i> »	Cette définition justifie qu'un système, lorsqu'il est constitué d'individus, est à l'équilibre lorsque sa démographie est stable, ainsi la sortie d'individus doit être compensée par l'entrée d'individus, tout comme en élevage.

Domaines concernés	Définition (CNRLT 2015)	Commentaires
Chimie et thermodynamique	<p>« État d'un corps ou d'un système de corps qui dépendent des conditions de leur milieu (température, pression, etc.) d'une façon telle qu'à chaque état défini de ces conditions, appelées facteurs de l'équilibre, correspondent un état déterminé et toujours le même du corps ou du système considérés, quel que soit le sens dans lequel s'est effectuée la variation du milieu »</p>	<p>Cette définition introduit l'idée qu'en fonction des conditions imposées au système, le système peut se modifier pour atteindre un autre état de stabilité adapté à ces conditions. L'équilibre peut donc être dynamique, pourvu que le système soit capable de s'adapter de façon constante aux conditions qui lui sont imposées. Il est de même en élevage bovin laitier : l'éleveur peut décider d'augmenter la production laitière de son élevage, cependant, si l'élevage était en « équilibre » avant, il est difficilement concevable d'imaginer que ce même élevage puisse être en équilibre tout en produisant plus sans aucune modification de son système de fonctionnement. Ainsi un éleveur conventionnel peut par exemple choisir d'augmenter la proportion de concentrés distribués à ses animaux. Il est cependant nécessaire que cette augmentation se fasse de façon raisonnée, sans quoi la production laitière pourra à court terme être augmentée mais à long terme être diminuée suite à des problèmes d'acidose sub aigüe engendrés par une trop forte proportion de concentré. De même l'éleveur peut choisir d'augmenter son troupeau pour produire plus de lait. Cela nécessite alors qu'il ait les bâtiments adéquats sans quoi cela engendrera très certainement des problèmes de boiteries et de mammites. A travers ces exemples nous pouvons voir que l'élevage est un système dynamique, l'éleveur peut choisir un état déterminé, mais il doit respecter des conditions précises pour pouvoir y arriver afin que cet état se pérennise.</p>

Dans toutes ces définitions figure la notion d'ensemble, ou système, constitué de différentes parties qui soit effectuent des échanges soit passent d'une forme à une autre. L'équilibre survient quand les flux dans un sens compensent les flux dans le sens opposé. On a donc souvent une idée de dynamique matérialisée par des flux mais surtout une notion de stabilité car ces flux se compensent pour donner un système stable, qui n'évolue pas.

Ceci explique que dans ces définitions on retrouve des termes à la fois associés :

- à la stabilité : constant, état, même, rester, contrebalancer
- au mouvement : nouveau, formé, disparu, variation, interaction
- d'unité : corps, système, milieu, population.

Un système à l'équilibre est donc une unité présentant des caractéristiques constantes, qui n'évoluent pas au cours du temps. Cette constance est permise par la dynamique des éléments intrinsèques qui composent ce système, lui permettant ainsi de s'adapter aux conditions qui lui sont imposées.

c) Notion d'état d'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier biologique

D'après ce que l'on a pu étudier précédemment, pour définir l'état d'équilibre ou de déséquilibre en élevage bovin laitier, il nous faut dans un premier temps mettre en évidence les caractéristiques de cet élevage en tant que système, afin de vérifier que les paramètres qui le définissent sont stables dans le temps.

α. L'élevage bovin laitier biologique en tant que système de production

Bonnemaire et Landais définissent un système d'élevage ainsi : « *ensemble d'éléments en interaction, organisés par l'homme dans le cadre d'une activité d'élevage visant à obtenir des productions variées (lait, viande, cuirs et peaux, travail, fumure...) ou à atteindre tout autre objectif.* » Il écrit également que ce système dépend de quatre éléments principaux : l'éleveur, les animaux, les ressources exploitées (bâtiments, équipements, pâtures...) et les produits (viande, lait...) (Bonnemaire & Landais 1996). Cette notion de système d'élevage est d'autant plus renforcée en élevage bovin laitier biologique. En effet, dans ce type d'élevage animaux, sols et productions végétales sont plus fortement liés qu'en élevage conventionnel la réglementation met notamment en avant que :

- 50 % des aliments destinés aux animaux doivent provenir de l'exploitation elle-même.
- Les effluents provenant des animaux de l'exploitation doivent être épandus en priorité sur les terres mêmes de l'exploitation, voire sur les terres d'autres exploitations biologiques en cas de surplus, mais ne peuvent en aucun cas être épandus sur des terres non biologiques.

De ce fait, alimentation des animaux et gestion des effluents caractérisent déjà à eux seuls l'exploitation biologique comme un système de production devant être en équilibre. A cela, il faut ajouter les contraintes de logement et de pâtures destinées aux animaux qui doivent répondre aux normes en vigueur. L'achat d'animaux est également strictement réglementé et n'est pas aussi aisé que pour les élevages conventionnels (cf. Annexe 1) (CCE 2008; J. LEROUX et al. 2009). Une exploitation laitière biologique est ainsi caractérisée par :

- Des bâtiments et pâtures qui doivent être répartis entre élevage et cultures.
- Des cultures qui doivent fournir l'essentiel de la nourriture des animaux.
- L'élevage de bovins qui doit fournir une production laitière déterminée par l'éleveur.
- La production laitière, qui constitue l'objectif ultime de l'éleveur car c'est la source de revenu principal, elle ne doit donc pas être impactée par les aléas que subit le système.

- Des achats et des sorties d'animaux, qui peuvent plus ou moins être contrôlés par l'éleveur.
- La production d'effluents, qui doit être épandue sur l'exploitation.

Les interactions de chacune de ces caractéristiques sont mises en évidence dans la figure 1 ci-dessous.

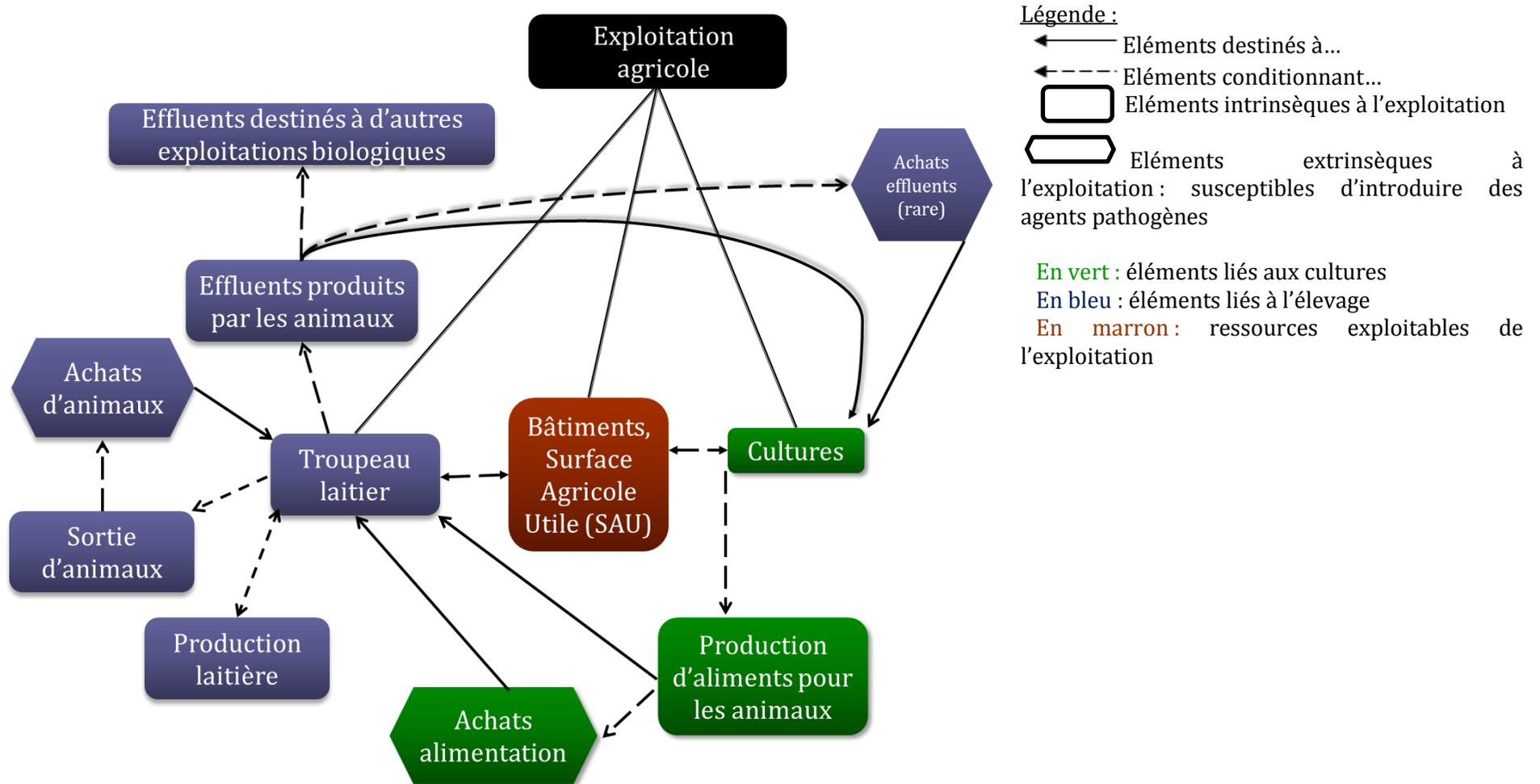


Figure 1 : L'élevage bovin laitier biologique, un système de production intégrant sol, plante et animal.

Cette représentation de l'élevage en tant que système est également valable pour les élevages conventionnels, à la différence que les contraintes liées à la réglementation sont moins importantes.

L'élevage bovin laitier est donc un système composé de plusieurs entités en interactions entre elles. Ces interactions reflètent la gestion zootechnique de l'élevage et assure la stabilité de l'élevage. L'élevage bovin laitier est également en interaction forte avec l'exploitation dont il fait partie. La stabilité de l'élevage et la stabilité de l'exploitation sont donc interdépendantes, d'autant plus que les entités de l'élevage entrent en interactions avec d'autres entités de l'exploitation.

β. L'élevage bovin laitier biologique : un système à la recherche de l'état d'équilibre

Nous avons vu précédemment qu'un élevage se devait d'être stable du fait que, d'une part, il est intégré dans un système plus grand, l'exploitation agricole, et que d'autre part il peut être l'unique source de revenu de l'éleveur. Cette stabilité ne peut être atteinte que par une bonne gestion de l'exploitation, et plus précisément une bonne gestion zootechnique de l'élevage. En effet cette bonne gestion zootechnique, assure une qualité sanitaire de l'élevage bovin laitier tel que les coûts d'élevages sont minimisés et les bénéfices maximisés. Ceci peut être illustré à travers la gestion du pré-troupeau. En effet, il est fréquent, par manque de temps, que les éleveurs s'investissent moins dans la gestion de leur pré-troupeau. Les veaux peuvent alors être atteints de diverses maladies (diarrhée, maladies respiratoires) qui impacteront la mise à la reproduction des femelles par la suite (Heinrichs et al. 2005). Ainsi, cette mauvaise gestion zootechnique à l'origine d'une dégradation de la qualité sanitaire de l'environnement des génisses, peut être à l'origine d'une dégradation des performances de reproduction du pré-troupeau et provoquer, à long terme, une diminution de la production laitière à l'échelle du cheptel. Pour compenser cela l'éleveur peut alors décider d'acheter des animaux. Cependant tout achat peut être source d'entrée d'agents pathogènes tels que le virus de la BVD et ainsi renforcer la dégradation initiale de la qualité sanitaire de l'élevage.

Dans un tel contexte il est difficile d'imaginer que l'éleveur ait de multiples recours pour maintenir la stabilité de son élevage. Ainsi une gestion zootechnique et une qualité sanitaire optimales assurent une stabilité à long terme de l'élevage. Cependant, cette stabilité peut être plus difficile à atteindre pour les élevages biologiques du fait de la réglementation qui leur est imposée, en termes de traitements médicamenteux notamment (cf. annexe 1). C'est sans doute pour cela qu'un des objectifs des éleveurs biologiques est d'atteindre l'état d'équilibre au sein de l'élevage (INRA & ITAB 2013). De plus, l'état d'équilibre de l'élevage est lié la stabilité de l'élevage, il dépend donc d'une gestion zootechnique adaptée permettant le développement d'un équilibre sanitaire propre à chaque élevage. Equilibre sanitaire et équilibre général de l'élevage sont donc liés et assurent une partie de l'équilibre de toute l'exploitation, tout comme l'équilibre de l'exploitation impacte l'équilibre général de l'élevage. La figure ci-dessous résume les liens entre stabilité et équilibres de l'élevage.

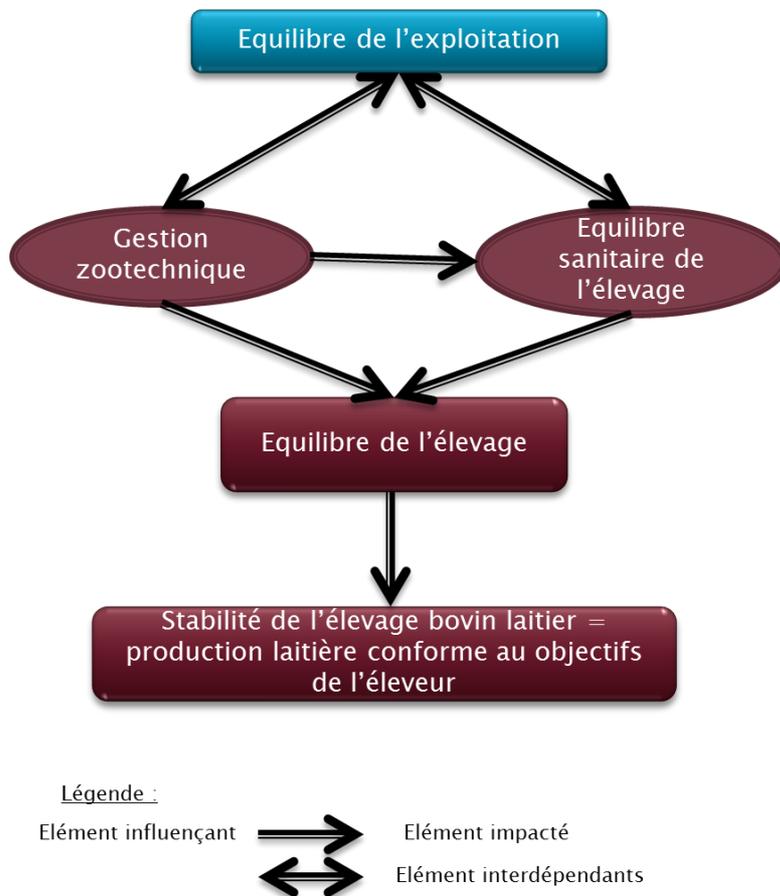


Figure 2 : De l'équilibre de l'exploitation à la stabilité de l'élevage : place de l'équilibre sanitaire

Cette figure met ainsi en évidence que l'équilibre de l'exploitation dépend à la gestion zootechnique et à l'équilibre sanitaire de l'élevage. De plus, équilibre sanitaire et gestion zootechnique sont fortement liés, en effet, l'équilibre sanitaire résulte en grande partie de la gestion zootechnique. Ces deux éléments sont donc essentiels à l'équilibre général de l'élevage. Dans la suite de notre étude nous nous intéresserons particulièrement à l'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier.

La figure 3 ci-dessous synthétise les facteurs impliqués dans l'établissement de l'équilibre sanitaire de l'élevage. Ces facteurs peuvent influencer positivement ou négativement cet équilibre. Quatre facteurs majeurs influent sur cet équilibre :

- La présence d'agents pathogènes : ceux-ci peuvent être initialement présents dans l'élevage et proliférer si les conditions leurs sont favorables, ou être introduits suite à des achats par exemple. Ce facteur peut totalement perturber l'équilibre sanitaire d'un élevage. Il ne peut être évalué sans cahier sanitaire d'élevage ou sans visite de l'élevage.
- Les flux d'animaux : ils sont caractérisés par des entrées (naissances, achats) et des sorties (mortalités, réformes, ventes). Les achats d'animaux peuvent introduire dans l'élevage de nouveaux agents pathogènes. Les sorties peuvent être le reflet d'un équilibre sanitaire perturbé lors de fortes mortalités ou de réformes importantes.
- L'alimentation : Nous avons vu précédemment les conditions réglementaires concernant l'alimentation. Ce facteur est essentiel dans l'équilibre sanitaire de l'élevage car une alimentation mal adaptée au besoin métabolique de la vache laitière la fragilise beaucoup en augmentant par exemple les maladies métaboliques.

- L'effort de production demandé aux animaux : la production laitière : Ce facteur est central dans l'équilibre d'un élevage bovin laitier. En effet plus la production laitière par animal augmente, plus cela est susceptible de fragiliser l'animal si la gestion zootechnique de l'élevage est mal adaptée (Coignard 2013). De nombreux paramètres tels que la production laitière, la durée de lactation, le rang moyen de lactation, l'impact des mammites et des maladies métaboliques reflètent la gestion du troupeau afin d'évaluer si celle-ci correspond à l'effort de production attendu.

Ces facteurs, qui se doivent d'être stables pour que l'équilibre sanitaire soit acquis, sont caractérisés par des paramètres qui peuvent évoluer mais qui doivent alors se compenser. Par exemple pour une production laitière constante, le flux d'animaux doit être constant, ainsi le nombre de sorties de vaches laitières (morts, ventes...) doit être proche du nombre d'entrées (taux de renouvellement).

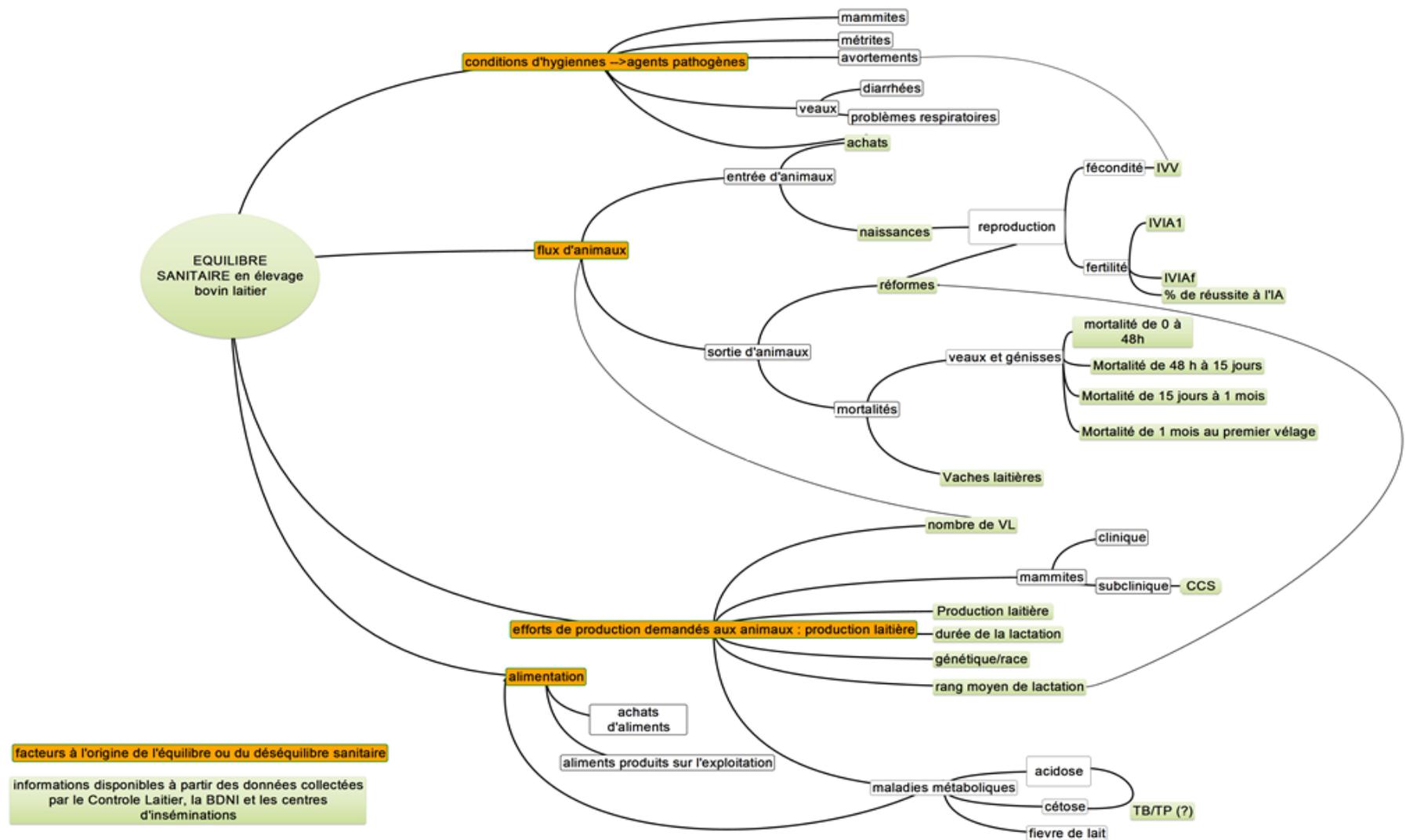


Figure 3 : L'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier, un équilibre fondé sur plusieurs paramètres en interaction entre eux

Nous pouvons donc constater que de nombreux facteurs de production laitière, de démographie et de reproduction sont impliqués dans la mise en place et le maintien de l'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier. Ces facteurs peuvent être étudiés à partir de l'évolution des paramètres liés à la santé mammaire, la santé métabolique, les flux d'animaux au sein du troupeau, la longévité des vaches laitières et la production laitière. Parmi ces paramètres, certains tels que ceux associés à la santé mammaire, la santé métabolique, les flux et la longévité sont exclusivement le reflet de l'aspect sanitaire du troupeau. D'autres, tels que les indicateurs de reproduction et de production laitière, sont liés à l'aspect sanitaire mais également à la gestion zootechnique de l'élevage. Ils dépendent donc également des objectifs de l'éleveur.

La plupart de ces indicateurs sont évaluables grâce aux données collectées par le Contrôle Laitier (CL), la Base de Données Nationale d'Identification (BDNI) et les centres d'inséminations artificielles. Ils permettent donc une caractérisation de l'état d'équilibre sanitaire à l'aide de données disponibles pour un grand nombre d'élevages et d'années. Les indicateurs associés à ces paramètres vont être décrits dans la partie suivante.

B. Indicateurs issus des données de production, de reproduction et de démographie pouvant caractériser l'état d'équilibre sanitaire en élevage bovin laitier

De nombreux indicateurs peuvent être créés et utilisés à partir des données issues du CL, de la BDNI et des centres d'inséminations, les indicateurs choisis pour évaluer l'état d'équilibre des élevages sont assemblés ci-dessous en 6 groupes : les indicateurs de santé mammaire, de santé métabolique, de longévité, de démographie, de reproduction et de production laitière.

a) Indicateurs de santé mammaire

Les mammites représentent un problème de santé majeur chez la vache laitière (Fall & Emanuelson 2009) et sont donc un facteur important de perturbations de la qualité sanitaire d'un élevage bovin laitier. L'évaluation de la santé mammaire d'un troupeau peut s'effectuer grâce à l'étude du carnet sanitaire d'élevage et de l'évolution d'un mois sur l'autre des concentrations en cellules somatiques (CCS) individuelles dans le lait à l'aide du CL. En effet, le carnet sanitaire doit répertorier tous les traitements effectués par l'éleveur sur son troupeau et leurs causes. De ce fait l'utilisation de ce carnet peut permettre une évaluation directe du nombre de mammites cliniques au sein de l'élevage. En revanche les mammites sub-cliniques font rarement l'objet de traitement hormis au moment du tarissement, elles ne sont donc pas évaluables à l'aide du carnet sanitaire mais leur détection peut être effectuée à l'aide des CCS. En effet il a été prouvé que la détection des mammites pouvait être effectuée par l'étude de l'évolution de CCS individuel d'un CL sur l'autre (Dohoo & Leslie 1991). De même il a été mis en évidence que les mammites autour du tarissement pouvaient également être détectées à l'aide des CL avant et après tarissement (Pantoja et al. 2009). En effet, les mammites étant à l'origine d'une inflammation plus ou moins importante de la mamelle, il est normal qu'elles soient caractérisées par un afflux de cellules inflammatoires dans le lait qui augmentent le nombre de cellules somatiques. Ainsi les mammites peuvent être caractérisées par des CCS dépassant un certain seuil. Les seuils de 100 000, 200 000 et 300 000 cellules/ml dans le lait individuel sont plus ou moins fréquemment utilisés. Plusieurs études ont montré que le seuil de 200 000 était le plus pertinent car il représente toujours un bon compromis entre la sensibilité et la spécificité quel que soit le stade de lactation étudié lorsqu'agents pathogènes majeurs et mineurs sont pris en compte. Ainsi, Dohoo et Leslie en 1991 ont prouvé le bien-fondé de l'utilisation de ce seuil pour la détection des mammites en cours de lactation. De même, comme nous pouvons le voir avec le tableau ci-dessous, Pantoja et al ont montré que ce même seuil était le plus approprié pour la détection des mammites autour du tarissement.

Tableau 2 : Sensibilité et spécificité de trois seuils de CCS individuelles utilisés pour la détection des mammites autour du tarissement

Seuil (cellules /ml)	Avant tarissement		Premier contrôle après vêlage	
	Sensibilité*	Spécificité*	Sensibilité*	Spécificité*
100 000	0,88	0,52	0,69	0,87
200 000	0,64	0,66	0,65	0,93
300 000	0,49	0,76	0,58	0,95

*Ces sensibilités et spécificités ont été calculées pour la détection des agents pathogènes majeurs et mineurs mis en cause dans les mammites sub-cliniques, le gold-standard étant la bactériologie issus des prélèvements de lait. (Pantoja et al. 2009)

De ce fait de nombreuses études utilisent les CCS de chaque vache laitière pour évaluer l'importance des mammites dans les troupeaux laitiers. (Madouasse, J N Huxley, et al. 2010; Fall & Emanuelson 2009; Pantoja et al. 2009). Les indicateurs de santé mammaire basés sur les CCS sont donc un bon reflet de l'état de santé mammaire du troupeau (Dohoo & Leslie 1991; Emanuelson & Funke 1991).

A partir des CCS, de nombreux indicateurs peuvent-être calculés (UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins 2011) . Ci-dessous sont résumés les indicateurs couramment utilisés. Ils sont tous basés sur des seuils qui peuvent varier selon les choix de l'utilisateur.

Tableau 3 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de santé mammaire

Indicateurs	définition	Justification de l'utilisation
Prévalence apparente des mammites durant la lactation	Nombre d'animaux considérés en mammites sur la période d'étude rapporté au nombre d'individus à risques	C'est l'indicateur de base pour évaluer la santé mammaire de l'élevage. Il donne une idée de l'importance des mammites au sein du troupeau. S'il permet d'évaluer approximativement l'incidence des mammites, cette incidence est contrebalancée par les guérisons spontanées sur une période donnée (Dohoo & Leslie 1991). Incidence et guérison contribuent à la prévalence. Cet indicateur est donc un reflet global de l'équilibre de la santé mammaire au sein de l'élevage.
Moyenne géométrique des CCS à l'échelle du troupeau	Moyenne géométrique des valeurs que prennent les CCS à chaque contrôle des vaches d'un troupeau sur période d'étude déterminée (mensuelle ou annuelle).	Il a été montré que la moyenne géométrique est corrélée à la prévalence apparente des mammites. Cette corrélation est un peu plus élevée que la corrélation entre moyenne arithmétique et prévalence apparente des mammites (Emanuelson & Funke 1991). Cet indicateur est donc un bon reflet global de l'équilibre de la santé mammaire au sein de l'élevage.
Incidence globale des mammites : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Durant la lactation ➤ Juste avant le tarissement ➤ Péri-partum 	Nombre de nouveaux cas sur la période d'étude rapporté au nombre d'individus à risques	Ces indicateurs permettent d'évaluer l'importance des mammites selon la période étudiée (en lactation, juste avant ou après le tarissement) dans un élevage de façon plus précise que la prévalence apparente puisqu'il ne prend en compte que les nouvelles infections. Cependant les rechutes n'étant pas identifiées, elles sont considérées comme de nouvelles infections (UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins 2011). Cet indicateur, combiné à la prévalence apparente permet d'évaluer si l'équilibre de la santé mammaire au sein de l'élevage est perturbé par de nouveaux cas (prévalence et incidence apparentes vont être élevées), ou si un certain équilibre s'est installé (prévalence apparente faible ou élevée et incidence apparente faible). Il est intéressant d'étudier cette incidence au cours de la lactation, juste avant puis après le tarissement car l'équilibre sanitaire n'est pas dû aux mêmes facteurs de risque selon les périodes.
Taux de guérison durant la période sèche	Nombre d'animaux atteints de mammites sub-cliniques guéris suite au tarissement rapporté au nombre d'animaux atteints avant tarissement	Cet indicateur permet d'évaluer l'impact des mammites sub-cliniques au sein d'un élevage. Il entre dans l'évaluation de la dynamique générale de la gestion des mammites au sein d'un élevage (Pantoja et al. 2009; UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins 2011).

b) Indicateurs de santé métabolique

En élevage bovin laitier il est fréquent d'observer des maladies métaboliques telles que la cétose sub-clinique, l'acidose ruminale sub-aigue (ARSA) et les fièvres de lait. Les fièvres de lait sont dues à une gestion non optimale de l'alimentation de la vache tarie en péri-partum induisant une hypocalcémie après le vêlage chez les multipares à partir de leur troisième lactation. Cela résulte donc d'un problème à l'échelle du troupeau mais qui ne s'exprime que ponctuellement du fait de la sensibilité individuelle des animaux. Les paramètres liés à cette maladie ne seront donc pas pris en compte ici comme indicateurs d'équilibre sanitaire du fait de l'absence de donnée disponible sans consultation du carnet sanitaire d'élevage. En revanche, l'ARSA et la cétose sub-clinique sont des maladies de troupeaux qui s'expriment de façon très discrète individuellement mais qui sont à l'origine de troubles à l'échelle du troupeau. En effet elles induisent à terme la diminution de la production laitière, élément central de l'équilibre global de l'élevage (Enemark et al. 2002). En France, le rapport TB/TP est fréquemment utilisé par les vétérinaires pour la détection des troupeaux à risque vis-à-vis de ces deux maladies (Herman & Raboisson 2013).

α. Le TB/TP comme indicateur d'acidose ruminale sub-aigue

Cette maladie, dont l'un des facteurs de risque prédominant est une gestion mal adaptée de l'alimentation de la vache laitière, est caractérisée par un pH ruminal moyen au cours de la journée inférieur à 6 (Sauvant & Ouest 2010). C'est un problème que l'on rencontre essentiellement dans les élevages ayant des vaches laitières hautes productrices (VLHP), cette maladie est donc peu rencontrée en élevage biologique. A l'origine notamment d'une surproduction d'acides gras volatils (AGV) et d'une diminution des substances tampons au sein du rumen, l'ARSA provoque une modification de la flore ruminale au profit de la flore amylolytique. Ceci entraîne une production d'AGV déséquilibrée : les AGV C3 (propionate) et C4 (butyrate) sont produits à la défaveur des C2 (acétate). Or acétate et butyrate participent à la formation de la matière grasse du lait, ainsi la chute en acétate peut être corrélée à une chute de TB sans que le TP ne soit modifié. Cependant la surproduction de C4 peut compenser la chute de C2 et donc ne pas entraîner de chute de TB. L'ARSA peut donc être à l'origine d'une modification de la composition du lait, ce qui peut pénaliser la paie de l'éleveur. Cette maladie de troupeau est de plus difficilement décelable individuellement car les symptômes sont variables et frustes (ration mal digérée et troubles digestifs, problèmes locomoteurs...). L'impact au niveau de l'élevage est important car l'installation de cette maladie est insidieuse du fait du manque de symptômes caractéristiques. Elle entraîne donc des réformes prématurées, une augmentation du risque de la mortalité et donc un besoin de renouvellement plus important (Aubadie-Ladrix & Ferre-Fayache 2007).

Le diagnostic de certitude de cette maladie métabolique se fait par ruminocentèse sur plusieurs animaux, ce qui est fastidieux. C'est donc pour cela que le rapport TB/TP est fréquemment utilisé pour le diagnostic de l'ARSA. En effet, les données TB et TP sont facilement accessibles avec le Contrôle Laitier, pour toutes les vaches en lactation. Cependant les TB et TP peuvent varier pour de multiples causes (stade de lactation, ration...), l'interprétation du TB/TP n'est donc pas aussi évidente que cela. En effet les effets de l'ARSA sur les variations du TP ne sont pas totalement connus (Cook et al. 2006a). Sauvant et Ouest préconisent d'utiliser un seuil de TB/TP < 1,15 quel que soit le stade de lactation (Sauvant & Ouest 2010). Ainsi, ce critère sera pris comme indicateur d'ARSA par la suite, nous pourrons ainsi étudier s'il est corrélé à des taux de mortalité, de réforme et de renouvellement élevés (Enemark et al. 2002; Sauvant & Ouest 2010).

β. Le TB/TP comme indicateur de cétose sub-clinique

La cétose est la conséquence d'une lipo-mobilisation massive suite à déficit énergétique après le vêlage. Ce phénomène est initialement physiologique suite au vêlage. En effet la capacité d'ingestion de la vache laitière est faible, les papilles ruminales sont peu développées et l'animal peut avoir des réserves corporelles adipeuses importantes. Ainsi, même si la ration est adaptée, le déficit énergétique est inévitable : l'insuffisance en AGV (propionate notamment) issue de la dégradation bactérienne des glucides au sein du rumen entraîne une hypoglycémie physiologique qui est notamment à l'origine d'une stimulation de l'hormone de croissance (somatotropine) entraînant une lipo-mobilisation. La libération d'acides gras non estérifiés (AGNE) entraîne la formation de corps cétoniques utilisables par certains organes comme source d'énergie. Cependant lorsque le déficit énergétique est trop important, la lipo-mobilisation est à l'origine d'une quantité de corps cétoniques telle que les organes les utilisant ne peuvent tous les consommer. Ainsi ils s'accumulent et leurs effets toxiques s'expriment plus ou moins en fonction de cette accumulation. Ce phénomène peut être observé dès que l'animal présente une anorexie, quelle qu'en soit la cause. La cétose pathologique peut être clinique ou sub-clinique. A l'échelle du troupeau, la cétose sub-clinique est néfaste pour l'élevage, d'autant plus qu'elle est peu diagnostiquée. En effet, elle induit une sensibilité accrue aux infections, une diminution de la production laitière et du TP et une augmentation du TB et une diminution de la fertilité car :

- L'hypoglycémie prolongée et l'accumulation de corps cétoniques diminuent les défenses immunitaires, notamment l'activité des lymphocytes et des granulocytes.
- La diminution de synthèse de propionate au sein du rumen est à l'origine d'une diminution de l'insulinémie et donc d'un déficit en synthèse protéique au sein de la mamelle. Ceci provoque donc la réduction du TP dans le lait.
- La lipo-mobilisation massive entraîne une concentration sanguine en AGNE élevée, ce qui stimule le prélèvement des AGNE par la glande mammaire et accentue la synthèse d'acides gras destinés au lait. De ce fait le TB augmente.
- Les cétozes sont fréquemment associées à des rétentions placentaires, métrites et kystes ovariens. Cela perturbe donc les performances de reproduction du fait de la diminution de la fertilité des vaches (Cook et al. 2006b; Ennuyer & Laumonnier 2013; Oetzel 2007).

Du fait de la variation du TB et du TP, et de la disponibilité des données issue du Contrôle Laitier, il est fréquent d'utiliser le ratio TB/TP à l'échelle du troupeau pour la détection de la cétose sub-clinique. Nous utiliserons donc cet indicateur par la suite. Dans la littérature plusieurs seuils sont proposés et le stade de lactation pour la détection de la cétose sub-clinique peut varier. Ainsi, certains estiment que lorsque plus de 40 % du troupeau présente un TB/TP < 1.33 au premier contrôle, alors le troupeau est à risque de cétose (Philippe et al. 2013). D'autres utilisent le même seuil mais sur les 4 premiers mois de contrôles (Herman & Raboisson 2013). Il est à noter que l'utilisation de cet indicateur serait plus fiable pour la détection de la cétose sub-clinique que pour l'ARSA. (Cook et al. 2006a)

Nous l'avons vu, si le ratio TB/TP est pratique pour les détections de l'ARSA et de la cétose sub-clinique, l'utilisation de ces indicateurs est controversée. En effet, les variations du TB et du TP sont également fortement liées aux saisons, à la ration distribuée aux animaux, au stade de lactation... (Ennuyer & Laumonnier 2013) De ce fait l'évolution du TB et du TP peuvent ne pas être corrélés et l'interprétation du TB/TP faussée, d'autant plus qu'ARSA et cétose peuvent être présentes simultanément dans un même troupeau. Il peut donc être intéressant d'étudier l'évolution du TB et du TP indépendamment l'un de l'autre.

χ. Le TB comme indicateur d'ARSA

Cook et al ont montré que le TB était corrélé au pH ruminal, ainsi ce paramètre pourrait être utilisé seul comme indicateur d'acidose sub-aigue (Cook et al. 2006a).

δ. Le TP comme indicateur métabolique

Une étude a montré que le TP était corrélé de façon positive à la fertilité des vaches. Ceci est sans doute dû au fait que TP et statut énergétique sont également corrélés (Madouasse, J. N. Huxley, et al. 2010).

c) Indicateurs démographiques

Ce groupe associe tous les indicateurs liés aux flux d'animaux au sein des élevages. Il est le reflet de la gestion zootechnique de l'élevage (naissance, achat, vente) et du risque sanitaire de l'élevage (mortalité). Il semble naturel que ces indicateurs se doivent de montrer une certaine stabilité au cours du temps : par exemple il est difficile de concevoir qu'un élevage en équilibre soit caractérisé par des mortalités et des achats toujours plus importants, bien que le nombre de vaches au sein du troupeau laitier reste constant. En effet en élevage les animaux ne meurent (presque) jamais de vieillesse, de ce fait, les mortalités sont nécessairement dues à des réformes ou des maladies. Très généralement, une hausse de la mortalité et des réformes va être compensée par l'éleveur par des achats, sans quoi la production laitière assurant le revenu de l'élevage ne peut être stable. Or ces achats peuvent être source d'entrée d'agents pathogènes (virus de la BVD, *Mycobacterium avium ssp paratuberculosis*, *Neospora caninum*...) et donc engendrer de la mortalité et des réformes par la suite, et ce d'autant plus que certains agents ne sont que difficilement détectables au moment de l'achat. Mortalités, réformes et achats peuvent donc former un cercle vicieux et peuvent déstabiliser un élevage. A l'inverse, on peut supposer que la stabilité d'un élevage puisse se mesurer par sa capacité de renouvellement et plus particulièrement d'auto-renouvellement, c'est-à-dire que le nombre de génisses entrant dans le troupeau compense le nombre de vaches laitières quittant le troupeau. Cela ne peut se faire que si le nombre de vaches quittant le troupeau est raisonnable, à savoir que si le taux de réforme et de mortalité des vaches laitières ne dépasse pas la capacité de l'élevage à s'auto-renouveler. Cela implique également que les mortalités des veaux soient faibles afin que l'éleveur ait un pré-troupeau suffisamment conséquent. De plus les indicateurs de mortalités sont fréquemment utilisés en surveillance syndromique comme nous pouvons le voir dans le tableau suivant. Ces indicateurs de démographie sont donc susceptibles de refléter l'état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire d'un troupeau.

De plus, les indicateurs de longévité des vaches laitières sont associés à ce groupe d'indicateurs. En effet, la longévité des animaux au sein d'un troupeau peut refléter le niveau sanitaire de l'exploitation : il a été montré que les troupeaux les plus jeunes, c'est-à-dire de parité moyenne inférieure à 2 en Prim'Holstein, présentaient des scores de santé globale faible. Ceci pourrait être dû à des réformes anticipées du fait de fortes prévalences concernant les maladies de troupeaux, comme par exemple les maladies métaboliques précédemment décrites. Ainsi les indicateurs de longévité pourraient mettre en évidence des déséquilibres sanitaires ou des équilibres non souhaitables au sein d'un élevage. Ces indicateurs sont calculés à partir de la parité des vaches d'un troupeau. L'indicateur le plus souvent utilisé est la parité moyenne du troupeau en lactation (Coignard 2013).

Tableau 4 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de démographie

Indicateurs	Définition	Justification de l'utilisation
Nombre de vaches laitières présentes	Nombres de vaches laitières présentes dans l'exploitation, qu'elles soient en lactation, en tarissement ou en engraissement.	La taille du troupeau influence très probablement sur la stabilité sanitaire d'un élevage. En effet plus le troupeau est grand, plus l'observation des animaux est difficile, de ce fait la stabilité sanitaire du troupeau peut être compromise. Cet indicateur est donc souvent pris en compte lors d'étude de qualité sanitaire des troupeaux, dans certains cas, comme pour les boiteries, il a été montré que la taille du troupeau était un facteur de risque (Coignard 2013; Groehn et al. 1992; Roesch et al. 2007) .
Taux de mortalité des veaux en fonction de l'âge des animaux	Proportion d'animaux sur l'exploitation mourant au cours de la tranche d'âge observée.	Ces indicateurs peuvent mettre en évidence le passage d'un agent pathogène (Perrin et al. 2010) et sont utilisés comme mise en évidence de la bonne santé d'un élevage (Coignard 2013). Il est nécessaire de procéder par tranche d'âge car les facteurs de risque de mortalité ne sont pas les mêmes, les modalités d'élevages évoluant en fonction de l'âge des animaux. Ainsi les mortalités inférieures à 2 jours sont des mortalités le plus souvent dues à des dystocies, entre 2 et 15 jours les mortalités sont plus généralement causées par des diarrhées, à partir de 15 jours ce sont les problèmes respiratoires qui entrent en jeu...De ce fait il a été montré que les indicateurs de mortalité des veaux étaient corrélés à la qualité sanitaire de l'élevage (De Vries et al. 2011). De plus une forte mortalité des jeunes induit un pré-troupeau qui peut être de taille insuffisante pour le renouvellement. Ces taux peuvent donc sans doute prédire une instabilité future dans la gestion de l'élevage et être corrélés à une élévation du taux d'achat.
Taux de mortalité des vaches laitières	Proportion de vaches laitières mourant en cours de lactation.	Les indicateurs basés sur la mortalité des animaux adultes sont utilisés comme marqueurs de bonne santé ou non d'un élevage (Coignard 2013).
Taux de réforme	Proportion de vaches laitières abattues.	Un taux de réforme important peut être dû à une prévalence élevée de maladies, de ce fait le taux de réforme peut être utilisé comme critère d'alerte de problème sanitaire en élevage (Coignard 2013).
Taux de génisses entrant dans le troupeau	Proportion de génisses entrant en lactation suite au vêlage.	La proportion de génisses ou de primipares au sein du troupeau en lactation est souvent prise en compte dans les études concernant la santé mammaire (Madouasse, J N Huxley, et al. 2010; Roesch et al. 2007). En effet si le taux de génisses entrant dans le troupeau (=auto-renouvellement) n'est pas proportionnel au taux de réforme, cela constitue un facteur de risque pour la qualité sanitaire du troupeau du fait des achats que cela induit.

d) Indicateurs de reproduction

L'étude des indicateurs de reproduction peut permettre la mise en évidence d'émergence de maladie au sein des élevages. Ainsi, ces indicateurs ont déjà été utilisés par Marceau et al en 2014 pour mettre en évidence rétrospectivement l'émergence de la FCO. Ils ont ainsi mis en avant le potentiel de ces indicateurs pour détecter l'émergence d'autres maladies ayant un impact sur la reproduction (Marceau et al. 2014). Ainsi une instabilité de ces indicateurs peut être le marqueur d'une modification de la situation sanitaire d'un élevage. De ce fait, bien que ces indicateurs soient également liés aux choix zootechniques de l'éleveur, il est pertinent de les étudier en tant que marqueurs d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire. Le tableau ci-dessous récapitule les indicateurs utilisés dans divers articles :

Tableau 5 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de reproduction

Indicateurs	Définitions et exemples	Justification de l'utilisation
Indicateurs liés à l'âge au premier vêlage	<i>Exemple</i> : moyenne arithmétique de l'âge au 1 ^{er} vêlage, proportion de génisses vêlant précocement ou tardivement.	<ul style="list-style-type: none"> • L'âge au premier vêlage est la résultante des performances zootechniques souhaitées par l'éleveur mais également des conditions sanitaires. Par exemple, il a été démontré que les génisses qui n'ont pas de problèmes respiratoires au cours de leur croissance ont deux fois plus de chance de vêler 6 mois plus tôt que les génisses qui en ont eus. De même, il a été démontré que les génisses atteintes de diarrhée étant veaux ont 2,9 fois plus de chance de vêler après 30 mois d'âge que si elles avaient été en bonne santé (Heinrichs et al. 2005). • Les indicateurs liés à l'âge au premier vêlage sont fréquemment associés à des seuils, à savoir qu'ils sont considérés comme précoces lorsque les génisses vêlent à environ 24 mois, et tardifs lorsqu'elles vêlent à environ 36 mois, les vêlages classiques ayant souvent lieu autour de 30 mois (Le Cozler et al. 2009).
Indicateurs liés aux intervalles vêlage - vêlage (IVV)	<p>IVV = Nombre de jours entre le vêlage considéré et le vêlage précédent.</p> <p><i>Exemple</i> : Moyenne géométrique de l'IVV, proportion de vaches ayant un IVV court ou long</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'IVV peut être considéré comme un indicateur de santé ou non, il est en effet le reflet de la gestion zootechnique de l'élevage, mais il dépend également de la qualité sanitaire de l'élevage (Fall & Emanuelson 2009). Ces indicateurs dépendent en effet du choix du délai de la mise à la reproduction de la part de l'éleveur et de la qualité sanitaire de l'élevage induisant une nouvelle gestation plus ou moins tôt après le précédent vêlage. Il synthétise les indicateurs associés à l'intervalle vêlage-insémination artificielle 1 (IVIA1), vêlage-insémination artificielle fécondante (IVIAf) et ceux associés aux durées de gestation. Et effet lors de l'émergence de certaines maladies, le délai entre le vêlage et la nouvelle gestation peut être allongé, et les durées de gestations peuvent être raccourcies (Marceau et al. 2014; Nusinovici et al. 2012). Les indicateurs liés aux IVV peuvent donc être des indicateurs de reproduction synthétiques mettant en valeur d'une part la gestion zootechnique de l'élevage, et d'autre part les potentiels changements de qualités sanitaires de l'élevage. • Il est fréquent de calculer ces indicateurs sur la base de seuils. Les IVV sont considérés comme longs lorsqu'ils sont supérieurs aux objectifs zootechniques optimaux, à savoir 380 jours (Ennuyer & Laumonnier 2013).
Indicateurs liés à l'intervalle vêlage - insémination artificielle 1 (IVIA1)	<p>IVIA1 = Nombre de jours entre l'IA1 et le vêlage précédent.</p> <p>Exemple : moyenne arithmétique, médiane, pourcentages d'IVIA1 longs</p>	<p>L'IVIA1 est un facteur important de bonnes performances en reproduction au sein des troupeaux laitiers. Cependant depuis 2007, cet intervalle n'a fait que s'allonger, atteignant plus de 100 jours en moyenne en 2012. Cet allongement peut-être dû à plusieurs facteurs : modifications des pratiques d'élevage comme l'allongement des durées de lactation, diminution de l'expression des chaleurs... (Le Mezec 2014) Ces indicateurs sont importants à prendre en compte pour pouvoir interpréter les allongements de l'IVV.</p>

Indicateurs	Définitions et exemples	Justification de l'utilisation
Indicateurs liés à l'âge au premier vêlage	<i>Exemple :</i> moyenne arithmétique de l'âge au 1 ^{er} vêlage, proportion de génisses vêlant précocement ou tardivement.	<ul style="list-style-type: none"> • L'âge au premier vêlage est la résultante des performances zootechniques souhaitées par l'éleveur mais également des conditions sanitaires. Par exemple, il a été démontré que les génisses qui n'ont pas de problèmes respiratoires au cours de leur croissance ont deux fois plus de chance de vêler 6 mois plus tôt que les génisses qui en ont eus. De même, il a été démontré que les génisses atteintes de diarrhée étant veaux ont 2,9 fois plus de chance de vêler après 30 mois d'âge que si elles avaient été en bonne santé (Heinrichs et al. 2005). • Les indicateurs liés à l'âge au premier vêlage sont fréquemment associé à des seuils, à savoir qu'ils sont considérés comme précoces lorsque les génisses vêlent à environ 24 mois, et tardifs lorsqu'elles vêlent à environ 36 mois, les vêlages classiques ayant souvent lieu autour de 30 mois (Le Cozler et al. 2009).
Indicateurs de fertilité (IVIAf)	IVIAf = Nombre de jours entre l'IAf et le vêlage précédent. <i>Exemple :</i> Moyenne de l'IVIAf, proportion d'IVIAf long, nombre moyen d'IA pour une IAf...	Une IAf étant considérée comme une IA suivie d'un vêlage dans les 175 jours au minimum (Nusinovici et al. 2012), ces indicateurs peuvent mettre en évidence un changement de gestion de reproduction de l'élevage de la part de l'éleveur. Ainsi depuis 2008 le nombre d'IA pour une IAf augmente, ce qui allonge l'IVIAf. Cela est notamment dû à l'utilisation de plus en plus importante de la semence sexée qui diminue les chances que l'IA soit fécondante (Le Mezec 2014). Ces indicateurs doivent donc également être pris en compte pour interpréter une augmentation de l'IVV.
Durée de lactation	Nombre de jours ou la vache est en lactation entre le vêlage et le dernier contrôle laitier+ 14 jours <i>Exemple :</i> moyenne géométrique des durées de lactation, proportion d'animaux en lactation longues...	La durée de lactation peut être utilisée comme indicateur de santé et de performances de reproduction. En effet si la fertilité de l'ensemble des troupeaux laitiers semble s'être stabilisée depuis peu, elle s'est fortement dégradée auparavant (Le Mezec 2014). A cela s'ajoute qu'un élevage caractérisé par une mauvaise gestion zootechnique de la période puerpérale peut alors avoir une incidence des maladies métaboliques (cétoses) et de l'appareil reproducteur (rétention placentaire, métrite...) élevée, or ces maladies retardent la reprise du cycle de reproduction (Lucy 2001). Afin de compenser ce retard de reprise du cycle de reproduction, l'éleveur peut alors être amené à tarir plus tard ses animaux, les durées de lactation se trouvent alors allongées.

e) Indicateurs de production laitière

Les indicateurs basés sur la production laitière reflètent d'une part la gestion de l'élevage du fait des objectifs de l'éleveur, et d'autre part la qualité sanitaire de l'élevage. En effet de nombreuses maladies telles que les mammites, l'ARSA, la cétose sub-clinique et autres peuvent avoir un effet négatif plus ou moins important sur la production laitière (Enemark et al. 2002; Fourichon et al. 1999; Bareille et al. 2000). Ainsi la production laitière pourrait refléter un déficit sanitaire à l'échelle de l'élevage. Cependant il faut également noter que la production laitière est un facteur de déséquilibre sanitaire en élevage, en effet une étude a montré qu'un troupeau donné de vaches laitières peut produire une quantité de lait maximale qui lui est propre. Ainsi, si l'éleveur pousse ses animaux à produire plus, cela les fragilise et ils sont alors plus sensibles aux maladies (Coignard 2013).

Tableau 6 : Descriptions bibliographiques des indicateurs de production laitière

Nom de l'indicateur	Définition, exemple d'indicateurs calculés	Justification de l'indicateur
Production laitière brute (Kg/VLP/an)	Production laitière brute à l'échelle du troupeau par vaches présentes sur toute la période étudiée	Cela permet d'évaluer la production laitière brute de l'élevage. Cet indicateur met en évidence les effets de la durée de lactation sur la production laitière annuelle. En effet nous pouvons ainsi vérifier si le manque de production journalière dû à l'allongement des lactations est compensé par le nombre de jours de lactation supplémentaires, et donc si la production laitière annuelle reste stable d'une année sur l'autre (Serieys et al. 2008).
Production laitière 305 jours (Kg/VLP/an) Calculé toutes parités confondues puis parité = 1, 2, 3 et supérieure à 3	Indicateur calculé entre le vêlage et le 305 ^{ème} jour de lactation	Cet indicateur permet d'analyser l'évolution de la production laitière au niveau du troupeau et de comparer les troupeaux entre eux de façon standardisée (Bareille et al. 2013): à production laitière annuelle égale, les troupeaux avec des VLHP auront une production 305 jours plus élevée avec moins de vaches laitières qu'un élevage avec des vaches moins productrices.

C. Définition d'un état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier

D'après ce qui a été mis en évidence précédemment, nous considérerons par la suite qu'un élevage bovin laitier est en état d'équilibre sanitaire lorsque les indicateurs qui le caractérisent restent stables au cours du temps. A l'inverse, un élevage en état de déséquilibre sanitaire sera caractérisé par des indicateurs qui fluctuent au cours du temps. Nous considérerons également dans la suite de ce document qu'étudier l'équilibre sanitaire de l'élevage revient à étudier l'équilibre global de l'élevage, les indicateurs utilisés pour montrer ces états d'équilibres appartenant assez souvent aux deux catégories.

De plus, parmi les indicateurs décrits, certains tels que les prévalences sont des « indicateurs d'états », d'autres, tels que les incidences sont des « indicateurs de flux ». Il est important d'étudier ces deux types d'indicateurs, car la stabilité des indicateurs d'états peut cacher des variabilités au sein des indicateurs de flux. Ainsi, un déséquilibre sanitaire associé à une augmentation de germes provoquant des mammites peut ne pas être décelé à l'étude seule de la prévalence apparentes des mammites. En effet, si le taux de guérison augmente proportionnellement à l'incidence apparente des mammites, la prévalence restera alors stable et le déséquilibre ne sera alors pas décelé.

Un état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier est donc caractérisé par la stabilité ou non des indicateurs de production, de reproduction, et de démographie au cours du temps.

II. Etude statistique des données de démographie, de reproduction et de production laitière pour l'identification et la caractérisation d'états d'équilibre et de déséquilibre en élevage bovin laitier

A. Contexte et objectifs

Nous l'avons vu précédemment, il n'est pas aisé de définir objectivement ce qu'est un élevage en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire. Cette étude propose donc de caractériser ces états à travers la stabilité d'indicateurs calculés à partir des données de démographie, de reproduction et de production laitière. Ces données ont l'avantage d'être fiables et facilement accessibles pour tous les élevages du fait :

- Du caractère réglementaire des données de démographie. Les éleveurs doivent déclarer auprès de l'EDE tout mouvement au sein de son exploitation (naissance, achat, vente, décès...).
- De l'inscription au Contrôle Laitier de près de 67% des élevages bovins laitiers français, cela permet aux éleveurs et à leurs conseillers (vétérinaires, CL...) de connaître la qualité et la quantité du lait produit individuellement et permettre une amélioration des performances du troupeau par la sélection. (Bareille et al. 2013)
- Du recours à l'insémination artificielle dans près de 76% des élevages bovins laitiers afin d'améliorer rapidement la génétique des troupeaux. (Bronner et al. 2014)

De ce fait, ces données étant collectées régulièrement depuis de nombreuses années, leur utilisation est courante car elles permettent une vue d'ensemble des élevages à distance.

Pour caractériser ces états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire cette étude statistique a pour objectifs :

- D'obtenir des indicateurs jugés pertinents à la caractérisation de ces états pour un nombre conséquent d'élevages.
- Au vu du grand nombre d'indicateurs nécessaires, de résumer cette caractérisation pour chaque élevage.
- D'étudier au cours de trois années l'évolution des caractéristiques de chaque élevage.
- Définir les profils des élevages en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire à partir de cette évolution sur trois ans.
- D'étudier les profils des élevages considérés en état de déséquilibre sanitaire afin de mettre en évidence leurs caractéristiques.

B. Matériels et méthodes

a) Période d'étude et bases de données utilisées

La période d'étude s'étend sur 3 ans du 01/01/2006 au 31/12/2008. Elle a été réalisée à partir des bases de données décrites ci-dessous :

- La BDNI de 2006 à 2009. Cette base de données contient les données d'état civil de chaque bovin en France. Ainsi cela nous permet d'avoir l'identification de chaque élevage français et de chaque animal appartenant à l'élevage. Chaque animal est caractérisé par sa date de naissance, sa race, son sexe, sa date et cause d'entrée dans l'élevage (naissance, achat, prêt...), sa date et cause de sortie de l'élevage (mort sur l'élevage, vente, boucherie...).
- Les données du Contrôle Laitier du 01/01/2003 au 31/12/2009 de tous les élevages inscrits. Cela nous permet d'avoir accès au numéro d'identification

unique des vaches en lactation par troupeau, le numéro de la lactation, la date de vêlage précédent la lactation et les dates de contrôle laitier de la lactation concernée. De plus par date de contrôle nous avons la quantité de lait produite en 24 h, le TB et TP et les CCS.

- Les données d'inséminations artificielles (IA) de 2006 à 2009. Par troupeau et par vaches inséminées, nous avons accès aux dates d'IA réalisées ainsi qu'aux dates de vêlage qui précède et qui suit des IA.

L'identification des élevages biologiques provient d'une base de données constituée en 2009 par Didier Raboisson, maître de conférences à l'ENVT, à partir de données de l'Agence Bio. Il est à noter que les dates de conversion ne sont pas disponibles. De ce fait les élevages inclus dans cette liste des élevages biologiques sont considérés comme biologiques pour les trois années d'étude.

b) Population et échantillon d'étude

La population cible de cette étude est représentée par tous les élevages bovins laitiers de France, qu'ils soient conventionnels ou biologiques, inscrits au CL entre 2003 et 2009 et dont la reproduction est gérée par insémination artificielle pendant l'intervalle d'étude. L'étude réalisée n'a pas été restreinte qu'aux élevages biologiques afin d'avoir un nombre conséquent d'élevages.

Dans le cadre de cette étude, les élevages sélectionnés devaient présenter les caractéristiques suivantes:

- Inscription au CL entre le 01/01/2003 et le 31/12/2009 minimum et ayant minimum 62 contrôles d'enregistrés entre ces dates. Cela permet d'éliminer les élevages débutant ou supprimant leur inscription au CL en cours d'étude.
- Pratique de l'IA entre le 01/01/2006 et le 31/12/2008 minimum.
- Avec minimum 80% de vaches de race Prim'Holstein. Ce critère nous permet de nous affranchir des variabilités liées aux races.

Toutes les vaches laitières et veaux de ces exploitations ont été pris en compte par la suite.

c) Traitement des données et mode de calcul des indicateurs

Tous les calculs ont été effectués avec le logiciel R (R Core Team 2015). Comme première approche, il a été choisi d'effectuer le calcul des indicateurs par élevages-années, c'est-à-dire sur un intervalle de temps de 1 an de 2006 à 2008 pour chaque élevage. En effet, cet intervalle de temps permet, par rapport à la temporalité des données disponibles que nous avons, d'avoir une vue d'ensemble de chaque élevage sans prendre en compte la variabilité saisonnière des indicateurs tout en nous permettant de comparer plusieurs périodes d'étude entre elles.

α. Equations des indicateurs calculés

A partir des bases de données précédemment décrites, plusieurs types d'indicateurs ont été calculés (pourcentages, moyennes arithmétique ou géométrique, écart-type...). Ci-dessous sont décrites les équations utilisées pour les calculs qui suivent.

- **Pourcentage :** on calcule le pourcentage d'animaux ou de contrôles remplissant un critère que l'on souhaite évaluer.

$$\% = \frac{n}{D} * 100$$

Avec :

- %, le pourcentage calculé
 - n , le numérateur, il représente le nombre d'occurrences de l'évènement d'intérêt.
 - D , le dénominateur, il représente le nombre d'animaux ou de contrôles éligibles, c'est-à-dire susceptible de subir l'évènement d'intérêt.
- **Moyenne arithmétique :** moyenne couramment utilisée pour décrire des données dont la distribution est symétrique. La formule en est :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Avec :

- \bar{x} , la moyenne arithmétique
 - x_i , les valeurs mesurées
 - n , le nombre de valeurs mesurées.
- **Ecart-type :** dispersion moyenne des valeurs autour de leur moyenne :

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Avec :

- \bar{s} , l'écart-type calculé
 - x_i , les valeurs mesurées
 - \bar{x} , la moyenne arithmétique ou géométrique
 - n , le nombre de valeurs mesurées.
- **Moyenne géométrique :** il s'agit d'une moyenne arithmétique sur une échelle logarithmique. La moyenne géométrique peut être exprimée comme suit :

$$\overline{x_{geo}} = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i)\right)$$

Avec :

- $\overline{x_{geo}}$, la moyenne géométrique
- x_i , les valeurs mesurées
- n , le nombre de valeurs mesurées.

La moyenne géométrique doit être utilisée sur des données dont la distribution est log-normale. Les distributions log-normales ne contiennent que des valeurs positives et s'étendent très loin sur la droite. Les CCS ont une distribution de type log-normale par exemple.

- **Quantiles :** Soit Q , le $p^{\text{ième}}$ quantile de la variable x . Q est la valeur de x pour laquelle on a $p\%$ des individus avec une valeur de x inférieure à Q . Le quantile 50 est la médiane, le quantile 10 est le premier décile, le quantile 25 est le premier quartile et ainsi de suite.

β. Mode de calcul des indicateurs de santé mammaire

Pour tous les indicateurs suivants, le calcul est effectué à partir des CCS issues des contrôles laitiers de toutes les vaches d'un troupeau effectués au cours de l'année d'étude. Lorsqu'un seuil est nécessaire au calcul de ces indicateurs, il est de 200 000 cellules/ml. Le tableau suivant récapitule le mode de calcul de chaque indicateur de santé mammaire.

Tableau 7 : Mode de calcul des indicateurs de santé mammaire

Nom de l'indicateur (unité)	Mode de calcul
Moyenne géométrique des CCS du lait de troupeau (cellules somatiques/mL)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : CCS de chaque contrôle enregistrés sur l'année d'étude • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Ecart-type des CCS du lait de troupeau (cellules somatiques/mL)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : CCS de chaque contrôle enregistrés sur l'année d'étude • \bar{x} : moyenne géométrique des CCS du lait de troupeau • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Prévalence apparente des mammites durant la lactation (%)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de contrôles ayant une CCS>200 000 cellules/mL • D : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Incidence des mammites durant la lactation (%)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de contrôles ayant une CCS>200 000 cellules/mL alors que la précédente était <200 000 cellules/mL • D : nombre de contrôles enregistrés dont les précédentes étaient <200 000 cellules/mL
Incidence des mammites avant le tarissement (%)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de contrôles précédant le tarissement et ayant une CCS>200 000 cellules/mL et dont la précédente était <200 cellules/mL • D : nombre de contrôles avant tarissement dont les CL précédents étaient <200 000cellules/mL
Incidence des mammites durant le tarissement (%)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de premiers contrôles après vêlage ayant une CCS>200 000 cellules/mL alors que la précédente était <200 000 cellules/mL • D : nombre de premiers contrôles après vêlage <200 000cellules/mL
Taux de guérison au tarissement (%)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de premiers contrôles après vêlage ayant une CCS<200 000 cellules/mL alors que le précédent était >200 000 cellules/mL • D : nombre de premiers contrôles après vêlage dont le contrôle précédent était >200 000cellules/mL

χ. Mode de calcul des indicateurs de santé métabolique

Les indicateurs de santé métabolique utilisés ici sont basés sur les données TB et TP du CL. Pour tous les indicateurs suivants, le calcul est effectué à partir des TB et TP issus des contrôles laitiers de toutes les vaches des troupeaux sélectionnés et effectués dans l'intervalle d'étude. Les rapports TB/TP sont fréquemment utilisés pour évaluer si un troupeau est à risque de cétose ou d'ARSA. Dans la bibliographie, les seuils utilisés peuvent varier selon les auteurs, de même que les stades de lactation pris en compte. Ainsi d'en notre étude il a été choisi que :

- La prévalence apparente d'ARSA correspond à la prévalence du TB/TP < 1,15 quel que soit le stade de lactation. En effet, il a été montré que pour un pH < 6, le ratio TB/TP était < 1,15 (Sauvant & Ouet 2010).
- La prévalence apparente de cétose correspond à la prévalence du TB/TP > 1,33 jusqu'à 120 jours de lactation. Ces seuils et période d'étude ont été choisis car c'est le meilleur compromis entre spécificité et sensibilité (Herman & Raboisson 2013)

Tableau 8 : Mode de calcul des indicateurs de santé métabolique

Nom de l'indicateur (unité)	Mode de calcul
Moyenne arithmétique des TP (g/kg)	<i>Mode de calcul</i> : moyenne arithmétique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : TP de chaque contrôle enregistré au cours de l'année d'étude • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Ecart-type des TP (g/kg)	<i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : TP de chaque contrôle enregistrés au cours de l'année d'étude • \bar{x} : moyenne arithmétique des TP du lait de troupeau • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Moyenne arithmétique des TB (g/kg)	<i>Mode de calcul</i> : moyenne arithmétique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : TB de chaque contrôle enregistrés au cours de l'année d'étude • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Ecart-type des TB (g/kg)	<i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : TB de chaque contrôle enregistrés au cours de l'année d'étude • \bar{x} : moyenne arithmétique des TB du lait de troupeau • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Prévalence apparente d'ARSA (%)	<i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude avec TB/TP < 1,15 • D : nombre de contrôles enregistrés au cours de l'année d'étude
Prévalence apparente cétose (%)	<i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de contrôles avant 120 jours de lactation enregistrés au cours de l'année d'étude avec TB/TP > 1.33 • D : nombre de contrôles avant 120 jours de lactation enregistrés au cours de l'année d'étude

δ. Mode de calcul des indicateurs de longévité

Les indicateurs de longévité calculés ici concernent toutes les vaches ayant au minimum un contrôle laitier dans l'intervalle d'étude dont la lactation se termine dans cet intervalle. Ainsi cela permet de ne prendre en compte chaque vache qu'une seule fois. Il est à noter que les lactations peuvent démarrer bien avant le début de l'étude.

Tableau 9 : Mode de calcul des indicateurs de longévité

Indicateurs	Mode de calcul
Pourcentage d'animaux en Parité x Indicateur calculé pour x allant de 1 à 10	<i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none">• <i>n</i> : nombre d'animaux éligibles en parité x• <i>D</i> : nombre d'animaux éligibles
Pourcentage d'animaux quittant le troupeau en parité x Indicateurs calculés pour x allant de 1 à 10	<i>Mode de calcul</i> : pourcentage Avec : <ul style="list-style-type: none">• <i>n</i> : nombre d'animaux éligibles quittant le troupeau en parité x• <i>D</i> : nombre d'animaux éligibles

ε. Mode de calcul des indicateurs de démographie

Les indicateurs de démographie sont tous les indicateurs relatifs aux mouvements des animaux au sein de l'élevage : taille de troupeau, entrées et sorties d'animaux...Les deux tableaux qui suivent rapportent les calculs effectués pour les indicateurs de démographie relatifs au troupeau laitier d'une part, et aux veaux et au pré troupeau laitier d'autre part.

Tableau 10 : Mode de calcul des indicateurs de démographie relatifs au troupeau laitier

Indicateurs (unités)	Mode de calcul
Nombre de vaches laitières (VLP = Vache Laitière Présente)	<p><i>Echantillon</i> : toutes les vaches ayant au minimum un contrôle dans l'intervalle d'étude</p> <p><i>Mode de calcul</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Numérateur : nombre de jours de présence au cours de l'année d'étude de chaque vache éligible • Dénominateur : nombre de jours entre le début et la fin de l'étude soit 365 jours (365 jours = une VLP)
Pourcentage de vaches laitières quittant le troupeau pour cause de vente (%VLP)	<p><i>Echantillon</i> : idem</p> <p><i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>n</i> : nombre de vaches éligibles vendues au cours de l'année d'étude • <i>D</i> : nombre de vaches laitières
Taux de réforme (% VLP)	<p><i>Echantillon</i> : idem</p> <p><i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>n</i> : nombre de vaches éligibles partant à l'abattoir au cours de la période d'étude • <i>D</i> : nombre de vaches laitières
Pourcentage de vaches laitières mourant au cours de l'année d'étude	<p><i>Echantillon</i> : idem</p> <p><i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>n</i> : nombre de vaches laitières éligibles mourant (pour causes autres que réforme, c'est-à-dire dont le décès a lieu à l'élevage suite à une maladie ou un accident) dans l'intervalle d'étude • <i>D</i> : nombre de vaches laitières.
Pourcentage de vaches laitières achetées sur l'intervalle d'étude (%VLP)	<p><i>Echantillon</i> : idem</p> <p><i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>n</i> : nombre de vaches laitières éligibles entrées dans l'élevage pour cause d'achat au cours de l'année d'étude • <i>D</i> : nombre de vaches laitières
Pourcentage de génisses entrant dans le troupeau sur l'intervalle d'étude = taux d'auto-renouvellement (%VLP)	<p><i>Echantillon</i> : idem</p> <p><i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>n</i> : nombre de vaches laitières éligibles en première lactation au cours de l'année d'étude • <i>D</i> : nombre de vaches laitières

Tableau 11 : Mode de calcul des indicateurs de démographie relatifs aux veaux et au pré-troupeau laitier

Indicateurs (unités)	Mode de calcul
<p>Pourcentage d'animaux x mourant entre 0 et 2 jours inclus x = \emptyset → tous sexes confondus x = f → indicateur concernant les femelles x=m → indicateur concernant les mâles</p>	<p><i>Echantillon</i> : tous les animaux ayant un nombre de jours à risque>0 au cours de l'année d'étude <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'animaux éligibles mourant entre 0 et 2 jours • D : nombre d'animaux éligibles. <p>Avec le nombre d'animaux éligibles = la somme du nombre de jours à risque des animaux éligibles rapportée au nombre de jour de la période à risque soit 3 jours.</p>
<p>Pourcentage d'animaux x mourant entre 3 et 15 jours inclus x = \emptyset → tous sexes confondus x = f → indicateurs concernant les femelles x=m → indicateur concernant les mâles</p>	<p><i>Echantillon</i> : tous les animaux ayant un nombre de jours à risque>0 au cours de l'année d'étude <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'animaux éligibles mourant entre 3 et 15 jours • D : nombre d'animaux éligibles. <p>Avec le nombre d'animaux éligibles = la somme du nombre de jours à risque des animaux éligibles rapportée au nombre de jour de la période à risque soit 13 jours.</p>
<p>Pourcentage d'animaux mourant entre 16 et 30 jours inclus</p>	<p><i>Echantillon</i> : tous les animaux ayant un nombre de jours à risque>0 au cours de l'année d'étude <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'animaux éligibles mourant entre 16 et 30 jours • D : nombre d'animaux éligibles. <p>Avec le nombre d'animaux éligibles = la somme du nombre de jours à risque des animaux éligibles rapportée au nombre de jour de la période à risque soit 15 jours.</p>
<p>Proportion d'animaux mourant ayant minimum 30 jours et ne vêlant pas (= génisses)</p>	<p><i>Echantillon</i> : toutes les femelles ayant un nombre de jours à risque>0 au cours de l'année d'étude <i>Mode de calcul</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Numérateur : nombre d'animaux éligibles mourant ayant minimum 30 jours et n'ayant jamais vêlé • Dénominateur : somme du nombre de jours à risque des animaux éligibles.

φ. Mode de calcul des indicateurs de reproduction

Ces indicateurs sont calculés à partir des données concernant toutes les vaches ayant au minimum un contrôle laitier dans l'intervalle d'étude et dont la lactation se termine dans cet intervalle. Ainsi cela permet de ne prendre en compte chaque vache qu'une seule fois. Il est à noter que les lactations peuvent démarrer bien avant le début de l'étude, de ce fait certains indicateurs tel que l'IVV peuvent concerner une période qui peut aller bien au-delà d'un an.

Tableau 12: Mode de calcul des indicateurs associés à l'âge au premier vêlage

Indicateurs (unité)	Mode de calcul
Moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage (jours)	<i>Echantillon</i> : toutes les génisses vêlant au cours de l'année d'étude <i>Mode de calcul</i> : moyenne arithmétique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : âges des génisses éligibles à leur vêlage en jours • n : nombre de génisses éligibles
Ecart-type de l'âge au premier vêlage (jours)	<i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : âges des génisses éligibles à leur vêlage en jours • \bar{x} : moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage • n : nombre de génisses éligibles
Pourcentage de génisse vêlant précocement Seuil utilisé : âge au vêlage < 780 jours (Trocon et al. 1994)	<i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : pourcentage <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de génisses éligibles vêlant avant 780 jours d'âge • D : nombre de génisses éligibles
Pourcentage de génisses vêlant tardivement(%) : Seuil utilisé : >996 jours (Trocon et al. 1994)	<i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : pourcentage <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de génisses éligibles vêlant après 996 jours d'âge • D : nombre de génisses éligibles

Tableau 13 : Mode de calcul des indicateurs associés à l'IVV et à l'IVIA1

Indicateurs (unité)	Mode de calcul
<p>Moyenne géométrique de l'intervalle vêlage - vêlage (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : les vêlages des vaches pris en compte sont ceux ayant lieu au cours de l'année d'étude et ceux qui les précèdent, qu'ils soient dans l'intervalle d'étude ou non. Les IVV inférieurs à 295 jours sont exclus.(Nusinovici et al. 2012) <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les vêlages éligibles et ceux qui les précèdent • n : nombre de vêlages éligibles
<p>Ecart-type de l'IVV (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les vêlages éligibles et ceux qui les précèdent • \bar{x} : moyenne géométrique des IVV • n : nombre de vêlages éligibles
<p>Pourcentage d'IVV long Seuil utilisé : >380jours (Le Mezec 2014)</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre de vêlages éligibles dont l'IVV est > 380 jours • D : nombre de vêlages éligibles
<p>moyenne géométrique de l'intervalle vêlage - insémination artificielle 1 (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : L'IA1 a lieu au cours de l'année d'étude et le vêlage précédent a lieu avant ou au cours de cette même année. Les IVIA1 de moins de 35 jours ne sont pas pris en compte (Nusinovici et al. 2012). <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les IA1 éligibles et le vêlage qui les précèdent • n : nombre d'IA1 éligibles
<p>Ecart-type géométrique de l'IVIA1 (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : Idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les IA1 éligibles et le vêlage qui les précèdent • \bar{x} : moyenne géométrique des IVIA1 • n : nombre d'IA1 éligibles
<p>Indicateurs basés sur la répartition des IVIA1 (Jours) : médiane de l'IVIA1, quantiles à 25%, quantiles à 75%, différence entre les quantiles 75 et 25 de l'IVIA1</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : comme défini dans la partie II.B.c)a.</p>
<p>Pourcentage d'IVIA1 long Seuil utilisé : >90 jours (Seegers et al. 2003)</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'IA1 éligibles dont l'IVIA1 est > 90 jours • D : nombre d'IA1 éligibles

Tableau 14 : Mode de calcul des indicateurs associés aux IVIAf

Indicateurs (unité)	Mode de calcul
<p>Moyenne géométrique de l'intervalle vêlage - insémination artificielle fécondante (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : On considère l'IA comme fécondante lorsque c'est la dernière enregistrée au cours de l'année d'étude et que l'intervalle entre l'IA et le vêlage suivant est supérieur à 175 jours et inférieur à 297 jours (Nusinovici et al. 2012). Les vêlages les précédant peuvent être antérieurs à l'intervalle d'étude. <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les IAF éligibles et le vêlage qui les précèdent • n : nombre d'IAf éligibles
<p>Ecart-type géométrique de l'IVIAf (jours)</p>	<p><i>Echantillon</i> : Idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les IAF éligibles et le vêlage qui les précèdent • \bar{x} : moyenne géométrique des IVIAf • n : nombre d'IAf éligibles
<p>Indicateurs basés sur la répartition des IVIAf (Jours) : Médiane de l'IVIAf, Quantiles à 25%, Quantiles à 75%, Différence entre les quantiles 75 et 25 de l'IVIAf</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : comme défini dans la partie II.B.c)a.</p>
<p>Pourcentage d'IVIAf long Seuil considéré : >110 jours (Ennuyer & Laumonier 2013)</p>	<p><i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : pourcentage</p> <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'IA1 éligibles dont l'IVIA1 est > 110 jours • D : nombre d'IAf éligibles

Tableau 15 : Mode de calcul d'autres indicateurs associés aux Iaf

Indicateurs (unité)	Mode de calcul
Moyenne géométrique de l'intervalle IA1-IAf (jours)	<i>Echantillon</i> : Les calculs ont été effectués pour toutes les Iaf répondant aux critères des indicateurs concernant l'IVIAf. L'IA1 prise en compte est l'IA qui suit le vêlage précédent l'IAf. <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les Iaf éligibles et l'IA1 qui les précèdent • n : nombre d'Iaf éligibles
Ecart-type géométrique de l'IA1IAf (jours)	<i>Echantillon</i> : Idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i: nombre de jours entre les Iaf éligibles et l'IA1 qui les précèdent • \bar{x} : moyenne géométrique des IA1IAf • n : nombre d'Iaf éligibles
Médiane de l'IA1IAf (jours)	<i>Echantillon</i> : idem <i>Mode de calcul</i> : comme défini dans la partie II.B.c)a.
Pourcentage d'animaux pour lesquels IA_x = IAf (%) Avec x allant de 1 à 3 et >3	<i>Echantillon</i> : les IA considérées doivent être enregistrées dans l'année d'étude et répondre aux critères de l'IAf décrits avant. <i>Mode de calcul</i> : pourcentage <ul style="list-style-type: none"> • n : nombre d'animaux pour lesquels IAf=IA_x • D : nombre d'Iaf éligibles

γ. Mode de calcul des indicateurs de production laitière

Afin de ne pas prendre en compte deux fois le même animal sur une année, il a été choisi de baser les calculs sur l'intégralité des lactations se terminant dans l'année d'étude. Ainsi, les indicateurs de production laitière brute et 305 jours correspondent à la production laitière moyenne par vache de l'intégralité des lactations sélectionnées et non à la production laitière moyenne par vache sur une année. Cela permet d'évaluer la production moyenne des vaches en fonction de leur parité sur toute leur lactation.

Tableau 16 : Mode de calcul des indicateurs de production laitière

Indicateurs (unité)	Mode de calcul
Moyenne géométrique de la durée de lactation (jours/VLP/an)	<i>Echantillon</i> : Les lactations prises en compte commencent avant ou pendant l'intervalle d'étude et se finissent systématiquement dans l'intervalle d'étude <i>Mode de calcul</i> : moyenne géométrique Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : durée des lactations éligibles en jours • n : nombre de lactations éligibles
Ecart-type géométrique de la durée de lactation (jours/VLP/an)	<i>Echantillon</i> : Idem <i>Mode de calcul</i> : écart-type Avec : <ul style="list-style-type: none"> • x_i : durée des lactations éligibles en jours • \bar{x} : moyenne géométrique de la durée de lactation • n : nombre de lactations éligibles
Production laitière brute Méthode de Fleischmann (Kg/VLP/an) (Bareille et al. 2013) Calculé toutes parités confondues puis parité = 1, 2, 3 et supérieure à 3	<i>Echantillon</i> : Idem <i>Mode de calcul</i> : <ul style="list-style-type: none"> • Numérateur : somme de la production laitière totale de toutes les lactations éligibles • Dénominateur : nombre de lactations éligibles <p>La production laitière par vache et par lactation éligible est calculée selon la méthode de Fleischmann (Bareille et al. 2013).</p>
Production laitière 305 jours (Kg/VLP/an) Calculé toutes parités confondues puis parité = 1, 2, 3 et supérieure à 3	idem mais calculé qu'entre le vêlage et le 305 ^{ième} jour de lactation.

η. Format des données utilisées pour l'ACP

Le calcul de chaque indicateur décrit ci-dessus nous permet d'obtenir les caractéristiques de chaque élevage par année d'étude. Ci-dessous est rapporté un exemple concis de tableau final obtenu. Hormis l'indicateur « type d'élevage », tous les indicateurs du tableau sont des indicateurs quantitatifs.

Tableau 17 : Exemple de tableau récapitulatif des valeurs de chaque indicateur par élevage et par année

Identifiant des élevages-années	Nombre de vaches présentes	Prévalence apparente des mammites en lactation	...	Type d'élevage 0 = conventionnel 1 = biologique
FRAAAAAAAAAA_2006	61,5	20,5	...	0
FRAAAAAAAAAA_2007	67,4	23,1	...	0
FRAAAAAAAAAA_2008	79,5	28,7	...	0
FRBBBBBBBBB_2006	60,3	28,7	...	1
FRBBBBBBBBB_2007	57,6	46,9	...	1
FRBBBBBBBBB_2008	60,2	44	...	1
FRCCCCCCCCC_2006	23,6	21,2	...	0
FRCCCCCCCCC_2007	27,7	14,5	...	0
FRCCCCCCCCC_2008	29	23,6	...	0

Cette étude est donc effectuée à partir de 95 indicateurs calculés pour chacune des années 2006, 2007 et 2008 et issus des données de production laitière, de reproduction et de démographie.

d) Caractérisation statistique des états d'équilibre

α. L'analyse en composantes principales

○ But de l'ACP

Un grand nombre d'indicateurs a été calculé pour l'étude de l'équilibre sanitaire des élevages. Toutefois, plusieurs indicateurs étant construits à partir des mêmes données brutes, il est probable que certains indicateurs soient corrélés, même si chacun apporte une information légèrement différente. L'ACP est une méthode statistique permettant de résumer l'information contenue dans un jeu de données. La méthode réalise une projection tant des variables initiales que des individus (dans notre cas élevages-années) sur de nouvelles dimensions dont chacune est orthogonale aux autres. Les corrélations entre dimensions sont donc nulles. Ces nouvelles dimensions sont présentées par ordre décroissant de la variabilité des données initiales expliquée (inertie). Cette analyse statistique nous permet donc de caractériser chaque élevage-année à l'aide d'un nombre de variables limité, ces variables synthétisant les indicateurs initiaux. De plus, l'ACP nous permet mettre en évidence facilement les indicateurs discriminant le mieux les élevages entre eux.

Le but de cette première analyse statistique est donc de résumer l'information apportée par tous les indicateurs afin de faciliter la mise en évidence de profils d'élevages en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire.

○ Mise en œuvre de l'ACP

Cette analyse statistique a été réalisée à l'aide du package FactoMineR du logiciel R (R Core Team 2015; Husson et al. 2015). L'ACP a été appliquée au tableau obtenu suite au calcul des indicateurs pour chaque élevage-année et mis en forme comme cela est décrit précédemment. Tous les indicateurs ont été centrés-réduits car ils n'ont pas tous la même unité. Pour réaliser cette ACP, tous les élevages-années, ont été considérés comme individus actifs. De même tous les indicateurs décrits précédemment ont été considérés comme variables actives. La variable qualitative « type d'élevage » (conventionnel ou biologique) a été considérée comme variable supplémentaire afin d'évaluer si cette variable caractérise certains profils d'élevages.

Une fois l'ACP réalisée, nous obtenons alors, pour chaque élevage-année, un jeu de coordonnées correspondant à sa projection sur chacune des dimensions issues de l'ACP. Ces coordonnées permettent pour chaque élevage de déterminer un point moyen pour les 3 ans, appelé barycentre. On peut ensuite quantifier les mouvements des élevages autour de leur barycentre au cours des 3 années. Notre hypothèse de travail est que, puisque les indicateurs des élevages en état d'équilibre sont stables au cours du temps, ces élevages évoluent peu autour de leur barycentre, contrairement aux élevages en état de déséquilibre.

β. Calculs et étude des barycentres de chaque élevage

Pour l'étude de l'évolution des indicateurs caractérisant les élevages au cours des trois années étudiées, nous avons donc travaillé à partir des coordonnées issues de l'ACP. Il a ainsi été calculé :

- le barycentre : pour chaque dimension, c'est-à-dire la moyenne des coordonnées sur 3 ans.
- la distance entre chaque élevage-année et son barycentre respectif
- l'écart-type des distances annuelles de chaque élevage.

A partir de la distribution des écart-types de tous les élevages, les définitions des élevages en état d'équilibre et de déséquilibre sanitaire ont été établis.

χ. Classification ascendante hiérarchique appliquée aux élevages en état de déséquilibre sanitaire

Cette étape a pour but d'analyser l'existence de différents profils d'élevages en déséquilibre et d'étudier les indicateurs instables qui les caractérisent au cours de ces trois années d'étude. Pour cela une CAH est réalisée à partir des distances de chaque élevage vis-à-vis de son barycentre au cours des trois années. Cette CAH est réalisée à l'aide du package FactoMineR du logiciel R (Husson et al. 2015). La CAH réalisée est à l'origine de classes qui sont consolidées.

Il aurait également été intéressant d'étudier les profils des élevages en état d'équilibre afin de mettre en évidence si certains élevages présentent des caractéristiques similaires. Cela n'a pas pu être réalisé du fait du temps imparti pour la réalisation de cette étude.

III. Résultats

A. Description de l'échantillon étudié

Les résultats présentés par la suite concernent 2000 troupeaux bovins laitiers dont 153 biologiques sélectionnés aléatoirement parmi les élevages répondant aux critères exposés dans la partie matériels et méthodes. Comme nous pouvons le voir sur la carte suivante, ces élevages sont répartis sur toute la France. Il est à noter qu'il y a peu d'élevages sélectionnés en Bretagne qui est pourtant une des régions qui concentre le plus d'élevages bovins laitiers de France (Douguet et al. 2014).

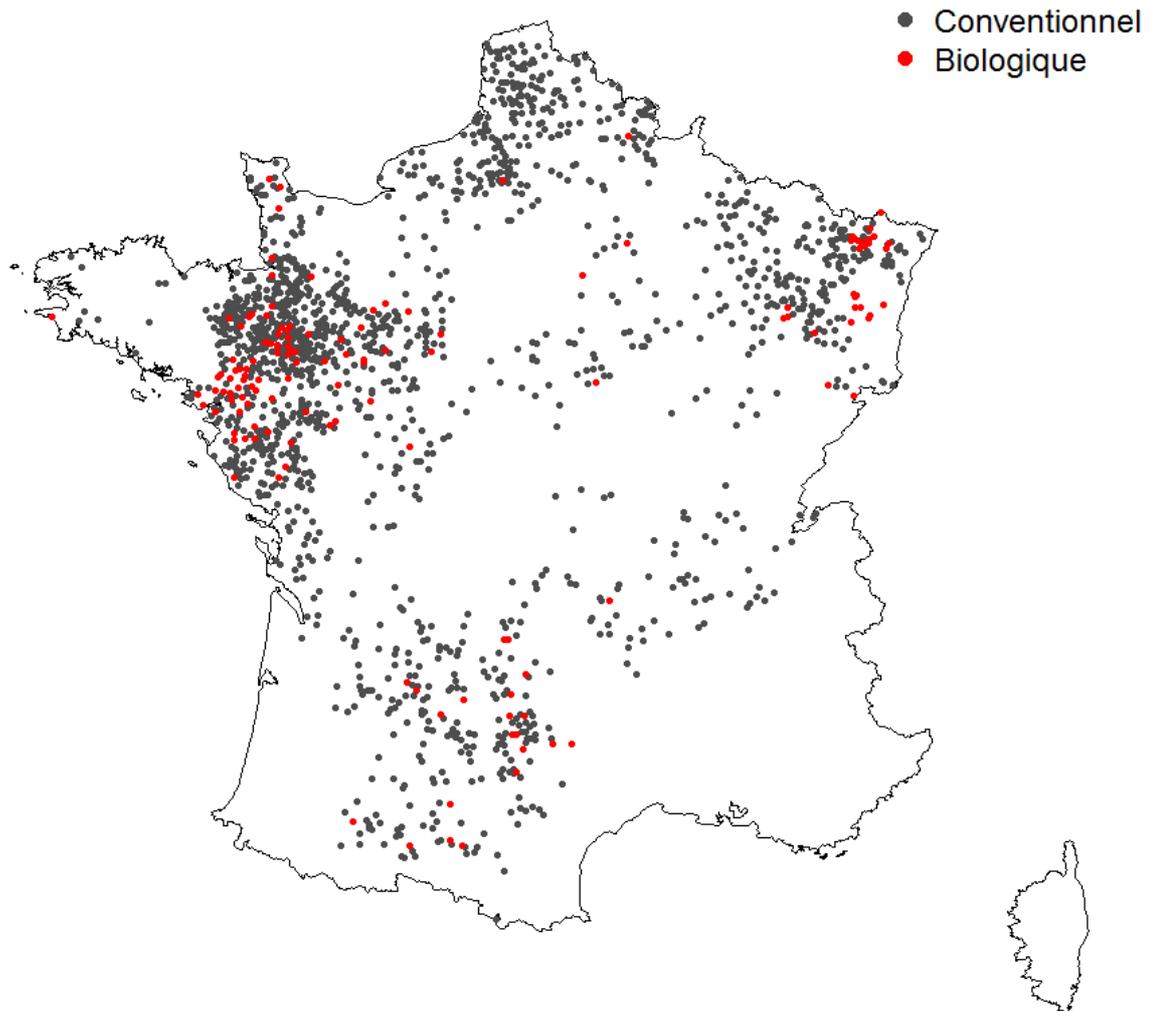


Figure 4 : Répartition géographique des 2000 troupeaux bovins laitiers français étudiés

Les caractéristiques générales de ces troupeaux sont les suivantes :

Tableau 18 : Caractéristiques générales des 2000 élevages entrant dans l'étude en 2006, 2007 et 2008

Caractéristiques par élevages	Nombre minimal			Nombre moyen			Nombre maximal		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Nombre de vaches laitières	7	6	6	53	57	63	235	257	310
Nombre de veaux	1	0	0	30	35	44	515	303	475
Production laitière brute moyenne annuelle par vache présente (kg/an)	918	3071	3620	7825	7827	7825	12845	12291	11520

Nous pouvons donc constater qu'au cours de ces 3 années d'études, les troupeaux laitiers n'ont cessé d'augmenter de taille bien que la production laitière semble rester assez stable pour notre échantillon.

B. Résultats de l'ACP

L'ACP permet de ré-exprimer à la fois chacune des variables originales et chacun des élevages-années dans un nouveau système de coordonnées. Ainsi, à chaque variable et à chaque élevage-année est associée une coordonnée pour chacune des dimensions créées par l'ACP. Dans les sections qui suivent, on va étudier dans quelle mesure les premières dimensions de l'ACP résument les données originales, les projections des variables et des élevages-années sur les dimensions issues de l'ACP.

a) Qualité du résumé du jeu de données initial réalisé par l'ACP

Une ACP bien réalisée résume à l'aide de peu de dimensions un maximum d'informations contenues dans le jeu de données initial. Pour estimer la qualité de ce résumé il faut évaluer le pourcentage d'inertie associé à la première dimension : plus ce pourcentage d'inertie est élevé, plus le résumé de l'information initiale est important. A l'aide de l'annexe 2, nous pouvons évaluer si l'ACP résume suffisamment l'information contenue dans les 95 indicateurs détaillés précédemment. Ainsi, lorsque 10 000 ACP sont réalisées avec 95 variables indépendantes et 6000 individus, le quantile à 95 % du pourcentage d'inertie expliqué par la première dimension de ces ACP est d'environ 1,34%. Tout pourcentage d'inertie supérieur à cette valeur pour une ACP réalisée à partir de 95 variables et 6000 individus indique donc que des variables sont corrélées et que l'ACP apporte un résumé intéressant du jeu de données initial. Dans notre cas le pourcentage d'inertie de la première dimension est d'environ 12% (cf. annexe 4). Ceci est donc bien au-dessus de notre valeur de référence, nous pouvons donc dire que la qualité de restitution d'information de notre ACP est élevée. Ceci est dû aux nombreuses variables corrélées entre elles.

L'ACP réalisée résume donc de façon significative notre jeu de données initial, de nombreuses variables étant corrélées entre elles.

b) Nombre de dimensions issues de l'ACP à conserver

Il n'est pas utile de conserver plus de 30 dimensions, en effet, au-delà, la valeur propre (*i.e* l'inertie) de chaque dimension, qui représente la qualité de représentation des données par une dimension, est inférieure à 1. Cela signifie qu'à partir de la 31^{ème} dimension, chaque dimension apporte moins d'informations qu'un indicateur isolé (Husson et al. 2009). Ces 30

premières dimensions résument à elles seules environ 75 % de l'information contenue dans les 95 indicateurs initiaux (cf. annexe 4).

De plus, l'histogramme ci-dessous nous permet de visualiser le pourcentage d'inertie associé à chaque dimension de l'ACP, c'est-à-dire qu'il nous permet d'analyser, parmi les 30 premières dimensions prises séparément, lesquelles nous apportent le plus d'informations du jeu de données initial. Ainsi, nous pouvons constater qu'une marche est identifiable entre le pourcentage d'inertie de la sixième et la septième dimension (flèche rouge), ensuite les marches sont globalement plus atténuées. Cela signifie que la majeure partie de l'information est résumée au sein de six premières dimensions. Cependant il est prudent de conserver la septième dimension dans l'étude afin de s'assurer que son interprétation est effectivement négligeable (Husson et al. 2009). Les sept premières dimensions résument ainsi environ 40 % de l'information contenue dans les 95 indicateurs initiaux. Il n'est pas nécessaire d'étudier individuellement les dimensions suivantes car prises une à une ces dimensions n'apportent que peu d'informations sur la variabilité entre individus.

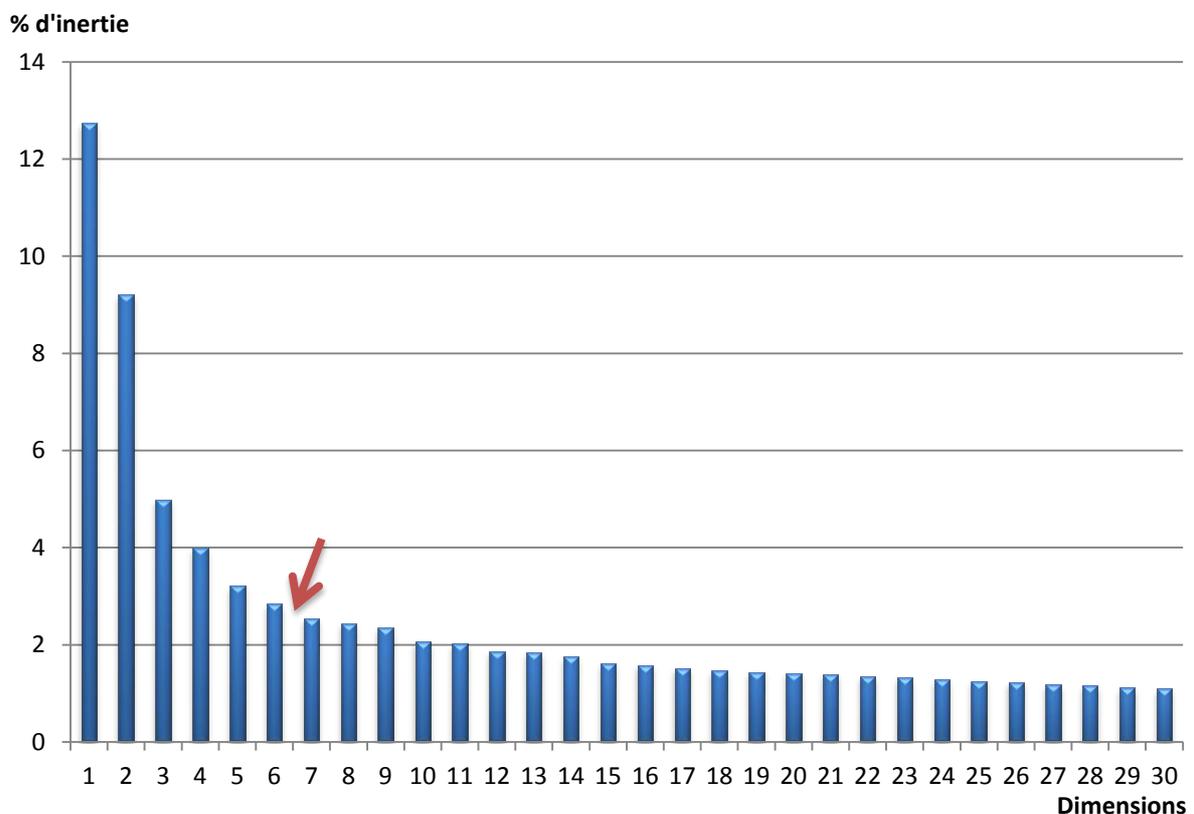


Figure 5 : Pourcentage d'inertie associé à chaque dimension

Nous pouvons donc nous limiter à l'étude des sept premières dimensions pour l'interprétation des résultats de notre étude.

c) Qualité de la représentation des individus

Pour chaque individu, la somme des \cos^2 sur l'ensemble des dimensions doit être égale à 1. On estime qu'un individu est bien projeté sur les n premières dimensions si la somme des \cos^2 pour ces n dimensions est supérieure à 0,7 (Husson 2014). Il est à noter qu'un individu dont cette somme est inférieure à 0,7 n'est pas nécessairement mal projeté. Le tableau ci-dessous nous montre que le nombre d'individus qui sont bien projetés avec certitude à l'aide des 7 premières dimensions est très insuffisant. Il est donc nécessaire ici de conserver les 30

premières dimensions sans quoi il nous est impossible de savoir si les individus sont bien projetés dans un espace inférieur à 30 dimensions.

Tableau 19 : Evaluation de la qualité de projection des individus dans les espaces à 7, 20 et 30 dimensions

nombre de dimensions conservées	nombre d'élevages-années ayant $\sum \cos^2 > 0,7$	pourcentage d'élevages-années ayant $\sum \cos^2 > 0,7$
7	175	2,9
20	2357	39,3
30	4766	79,4

Ainsi nous pouvons constater que seuls 79,4 % des individus sont bien représentés dans l'espace à 30 dimensions. Cependant nous avons vu que les dimensions supérieures n'apportaient que très peu d'informations, de ce fait nous pouvons supposer que la projection des 21% d'individus dont la somme des \cos^2 est inférieure à 0.7 dans l'espace à 30 dimensions est tout de même interprétable.

Afin d'étudier la variabilité des coordonnées que peuvent prendre les élevages au cours des trois années d'étude, il est donc nécessaire de conserver les 30 premières dimensions, sans quoi l'analyse ne sera pas interprétable.

d) Qualité de représentation des variables et des corrélations entre indicateurs

L'évaluation de la qualité de représentation des variables s'effectue de la même façon que pour les individus. 26 indicateurs sont ainsi bien représentés dans l'espace à 7 dimensions :

- Indicateur de santé mammaire : prévalence apparente des mammites durant la lactation.
- Indicateurs de santé métabolique : moyenne arithmétique du TB/TP, prévalence apparente d'ARSA, moyenne arithmétique du TB.
- Indicateurs de production laitière : production laitière brute toutes parités confondues et parité 1, 2, 3, et supérieure à 3, production laitière 305 jours toutes parité confondues et parité 1, 2, 3, et supérieure à 3.
- Indicateurs de reproduction : médiane IVIA1, 1^{er} quartile de l'IVIA1, 3^{ème} quartile de l'IVIA1, l'écart interquartile de l'IVIA1, médiane de l'IVIAf, 1^{er} quartile de l'IVIAf, 3^{ème} quartile de l'IVIAf, écart interquartile de l'IVIAf, IAf1, moyenne d'âge au premier vêlage, médiane de l'âge au premier vêlage pourcentage de génisses vêlant tardivement.

Pour la plupart de ces indicateurs, tels que ceux liés à la production laitière par exemple, nous pouvons supposer que, par construction, ils sont corrélés les uns aux autres. Pour confirmer cela, nous pouvons observer sur la figure 6 les projections de ces indicateurs sur les deux premières dimensions de l'ACP car ils y sont bien représentés, c'est-à-dire que la $\sum \cos^2_{\text{dim 1 et 2}} > 0.7$. Ces indicateurs sont représentés par des flèches, plus la pointe de la flèche est proche du cercle, mieux la variable est représentée.

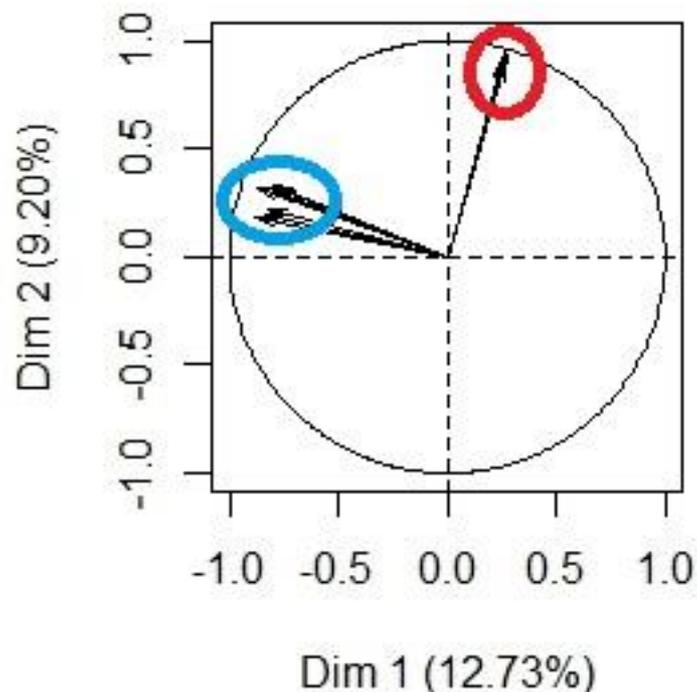


Figure 6 : Projection des indicateurs les mieux représentés par les dimensions 1 et 2*

*Les indicateurs entourés d'un cercle rouge correspondent aux indicateurs suivants : médiane IVIA1, quantile à 25% de l'IVIA1, quantile à 75 % de l'IVIA1, différence entre les quantiles 75 et 25% de l'IVIA1, médiane de l'IVIAf, quantile à 25% de l'IVIAf, quantile à 75 % de l'IVIAf, différence entre les quantiles 75 et 25% de l'IVIAf

Les indicateurs entourés d'un cercle bleu correspondent aux indicateurs liés à la production laitière et sont les suivants : production laitière brute toutes parités confondues et parité 1, 2, 3, et supérieure à 3, production laitière 305 jours toutes parité confondues et supérieure à la 3^{ème} parité

Nous pouvons donc constater que les indicateurs liés à l'IVIA1 et IVIAf sont particulièrement bien représentés sur ce plan et sont tous corrélés, il en est de même pour la plupart des indicateurs liés à la production laitière brute et 305 jours. Cela signifie que l'étude de chacun de ces deux groupes d'indicateurs peut se limiter à l'étude d'un seul indicateur par groupe. En effet tous les indicateurs d'un même groupe évoluent de façon similaire puisqu'ils sont corrélés.

Les indicateurs liés à l'IVIA1 et IVIAf sont particulièrement bien corrélés à la deuxième dimension, ce qui signifie que les élevages ayant une coordonnée élevée pour la dimension 2 sont caractérisés par des indicateurs liés au IVIA1 et IVIAf élevés. De même les indicateurs de production laitière entourés en bleu sont négativement corrélés à la première dimension. Cela signifie que les élevages ayant de faibles coordonnées sur la dimension 1 sont caractérisés par des indicateurs de production laitière élevée.

Lorsque l'on réalise la même démarche avec les dimensions 1 et 3 nous pouvons constater que les indicateurs de production laitière dont nous avons prouvé la corrélation entre eux sont également corrélés à la production laitière 305 jours des parités 1.

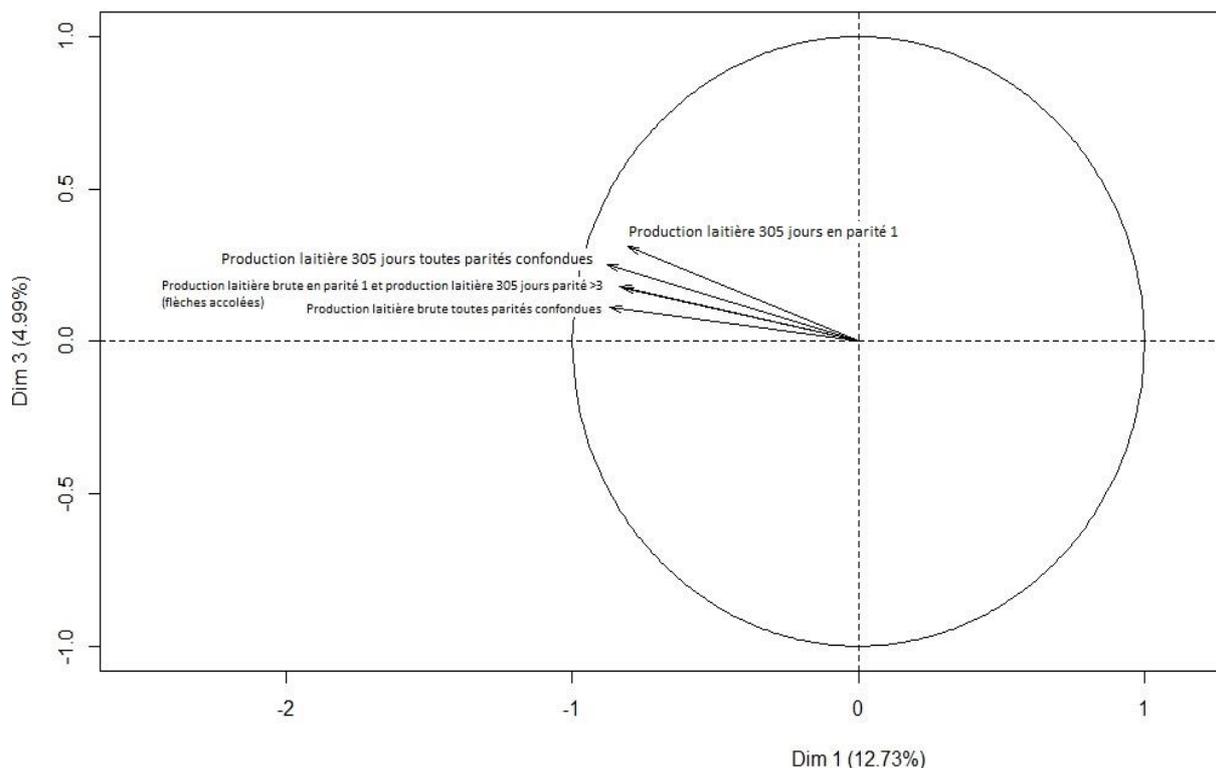


Figure 7 : Projection des indicateurs les mieux représentés par les dimensions 1 et 3

L'étude des autres dimensions vis-à-vis des indicateurs n'apporte pas plus d'information.

Les indicateurs interprétables pour les 7 premières dimensions sont les indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf, les indicateurs de production laitière, la prévalence apparente des mammites en cours de lactation, la moyenne arithmétique du TB/TP, la prévalence apparente d'ARSA, et moyenne arithmétique du TB.

Les corrélations entre les indicateurs IVIA1 et IVIAf ont été démontrées ainsi que les corrélations entre la plupart des indicateurs de production laitière. Cependant de nombreux autres indicateurs sont très probablement corrélés tels que les indicateurs liés à la production laitière et les indicateurs liés à l'IVV, mais ces corrélations ne sont pas démontrables avec l'ACP. En effet, ces indicateurs ne sont bien projetés sur aucun des plans formés par les dimensions de l'ACP.

e) Description des dimensions par les indicateurs

La description des dimensions permet de comprendre ce qui caractérise les élevages qui y prennent des coordonnées particulières. Savoir quels indicateurs contribuent le plus à la construction des dimensions permet de connaître les indicateurs qui discriminent le plus les élevages entre eux et de les caractériser. Cette description nécessite l'étude des corrélations entre les indicateurs et les dimensions. C'est-à-dire que si un indicateur est corrélé de façon significative à la dimension et que le coefficient de corrélation est suffisamment élevé, alors cet indicateur contribue beaucoup à la construction de cette dimension : il explique alors en grande partie cette dimension. De plus la description des dimensions en fonction de la variable « type d'élevage » peut expliquer si la variabilité des individus vis-à-vis de cette dimension est déterminée par leur caractère biologique ou conventionnel. Les descriptions des dimensions ne seront effectuées que pour les 7 premières dimensions. En effet, les dimensions suivantes prises une à une apportent peu d'information comme nous l'avons vu précédemment.

○ Contribution des indicateurs à la première dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p\text{ value} < 7,20e^{-03}$) de 84 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

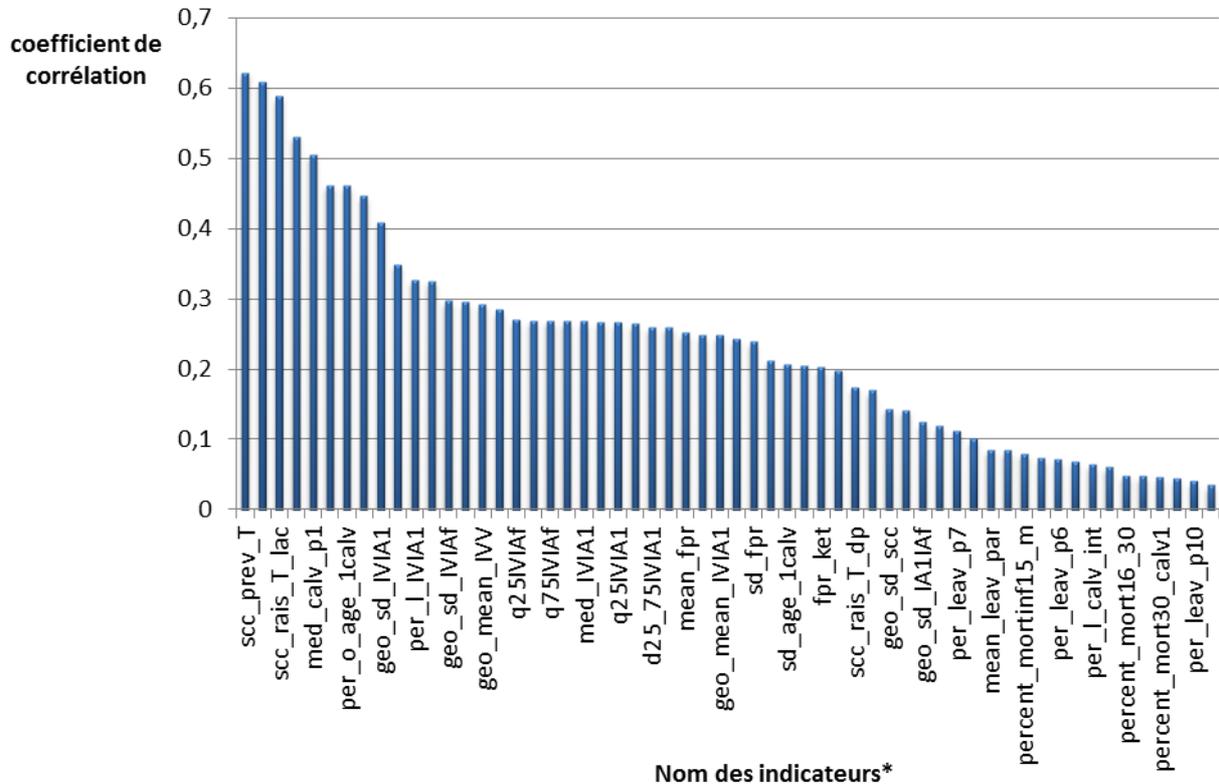


Figure 8 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 1

* Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

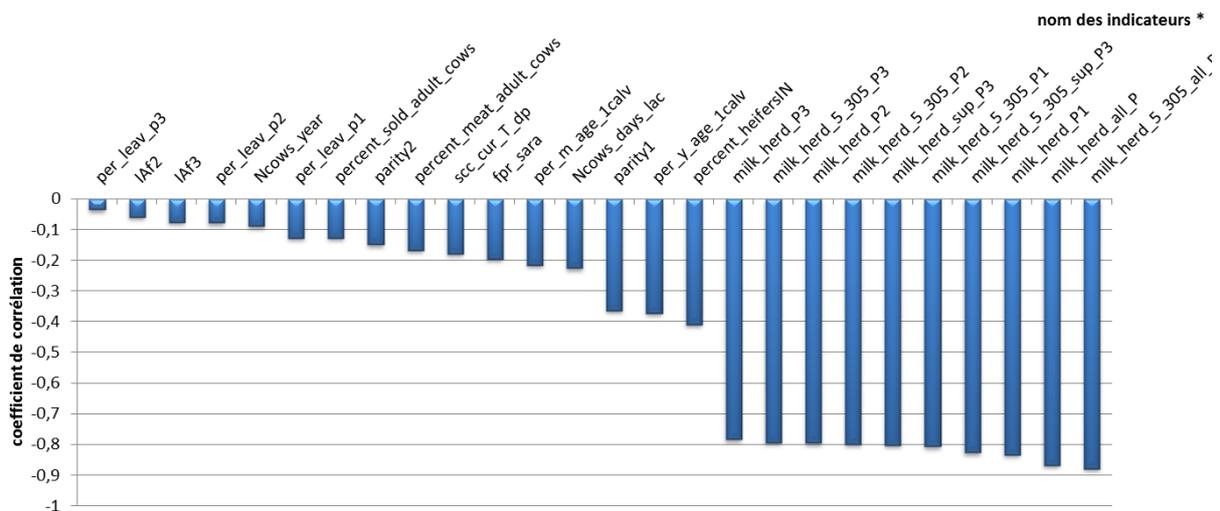


Figure 9 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 1

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

Au vu du grand nombre d'indicateurs participant à la construction de la dimension 1 et des coefficients de corrélation rapidement inférieurs à 0,5, nous ne considérerons que les

indicateurs participant le plus fortement à la construction de cet axe à savoir ceux qui présentent un coefficient de corrélation supérieur à 0,5 en valeur absolue.

Les indicateurs contribuant fortement à la construction de la dimension 1 et étant corrélés positivement à cette dimension sont : les prévalence et incidence apparentes des mammites en cours de lactation. Ce qui signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, ces individus sont caractérisés par de fortes prévalence et incidence apparentes en mammites en cours de lactation.

Les indicateurs contribuant fortement à la construction de la dimension 1 et étant corrélés négativement à cette dimension sont tous les indicateurs de production laitière. Ceci concorde avec la partie précédente : plus les élevages ont une coordonnée faible sur cette dimension, plus la production laitière est élevée.

Ainsi, plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la dimension 1, plus ces élevages présentent des prévalence et une incidence apparentes en mammites en cours de lactation élevées et une production laitière faible.

○ Contribution des indicateurs à la seconde dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p \text{ value} < 4,66e^{-02}$) de 71 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

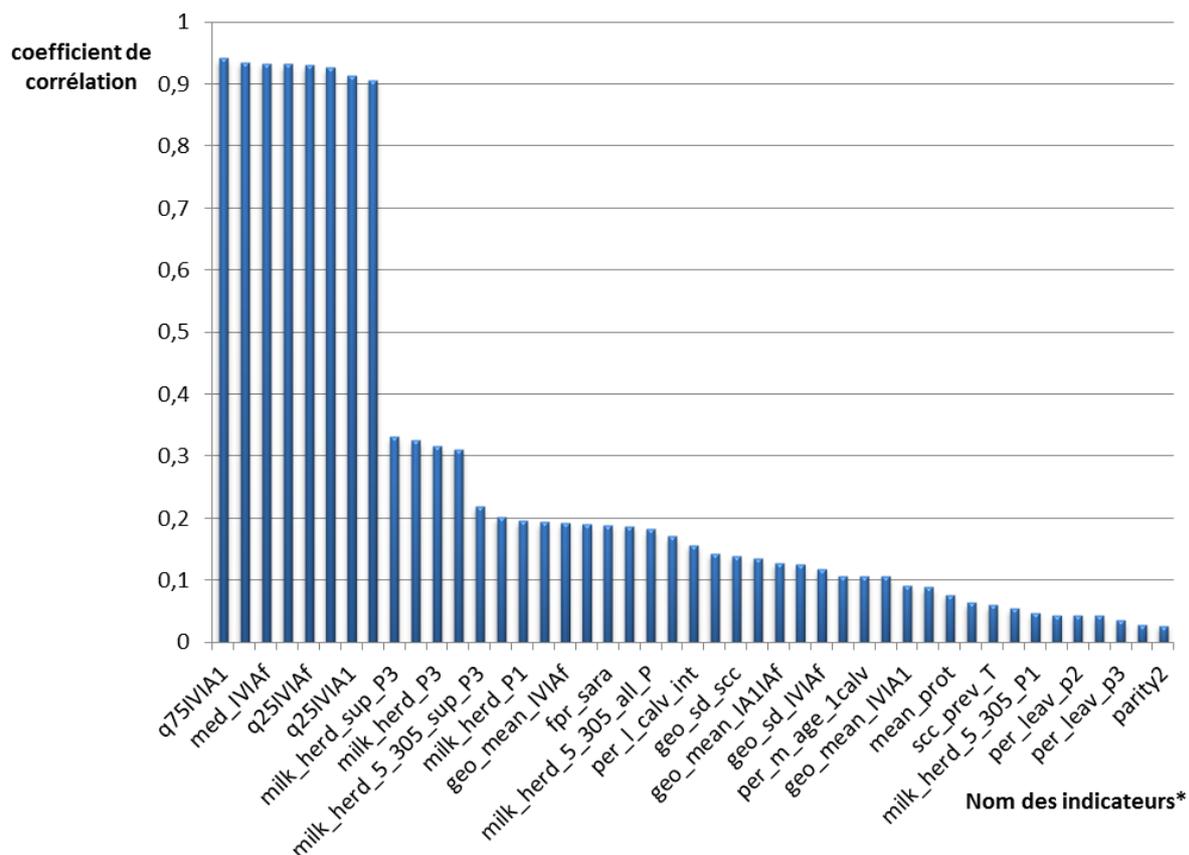


Figure 10 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 2

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

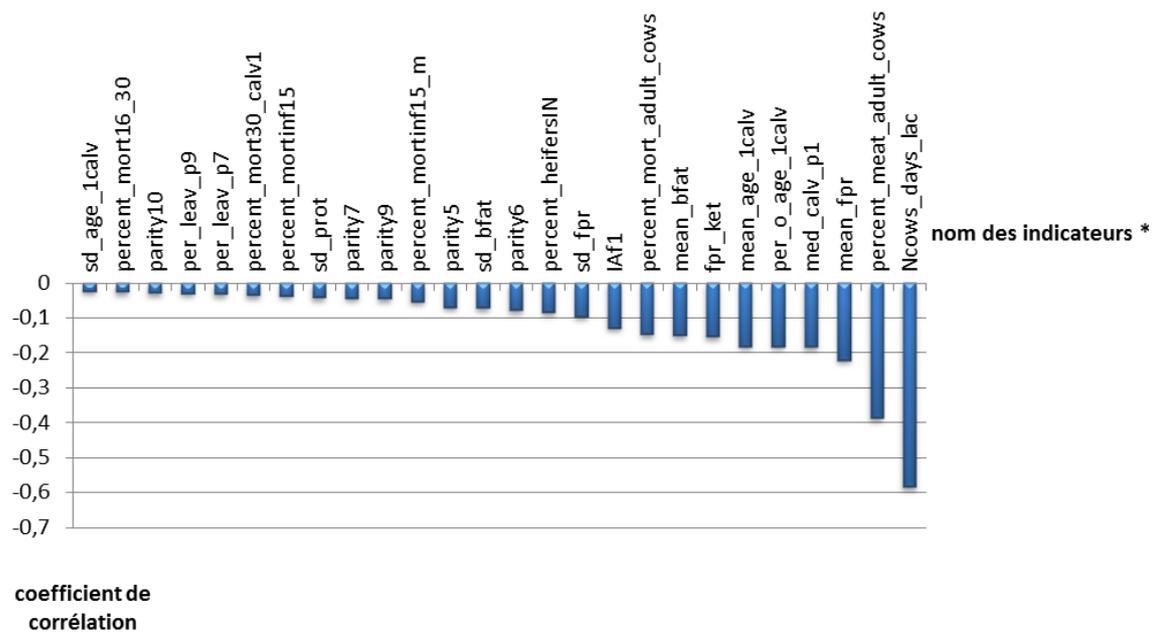


Figure 11 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 2

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions de la construction de la dimension 1, nous obtenons pour la dimension 2 :

- Les indicateurs contribuant fortement à la construction de cette dimension et étant corrélés positivement sont les indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf. Cela est cohérent avec ce que l'on a vu précédemment. Cela signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, ils sont caractérisés par des indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf ayant des valeurs élevées.
- Seul l'indicateur relatif au nombre de vaches en lactation présente un coefficient de corrélation inférieur à -0,5. Cet indicateur est donc celui qui contribue le plus à la construction de cette dimension en ayant une corrélation négative. Ainsi, plus les élevages ont une coordonnée faible pour la dimension 2, plus le nombre de vaches en lactation est élevé au sein du troupeau.

Ainsi, plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la dimension 2, plus ces élevages présentent des indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf élevés et un nombre de vaches en lactation présentes faible.

○ Contribution des indicateurs à la troisième dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p\text{ value} < 8,30e^{-02}$) de 75 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

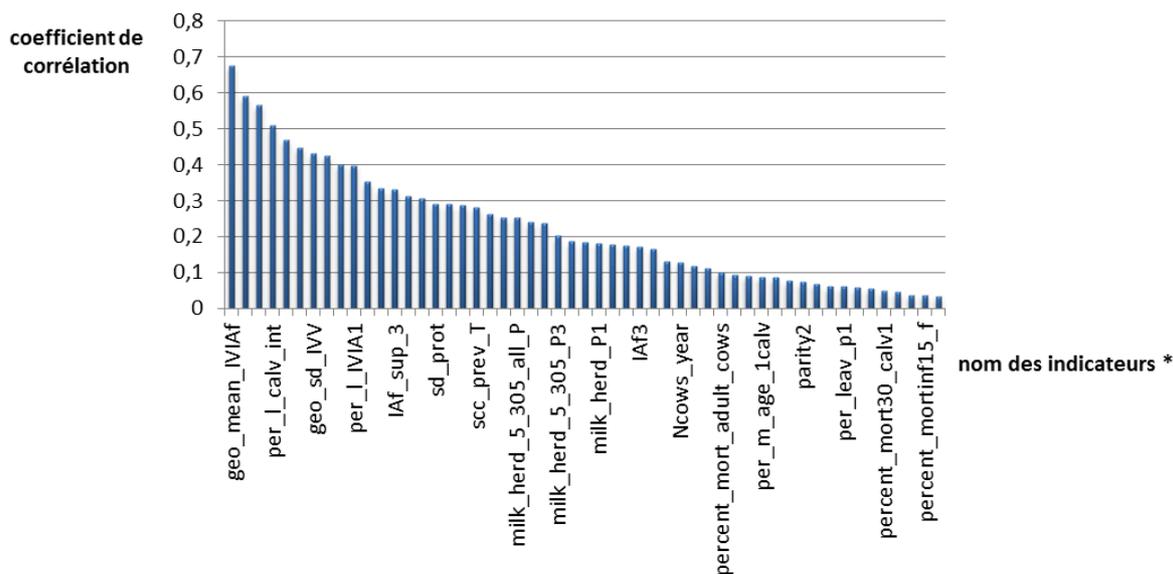


Figure 12 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 3

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

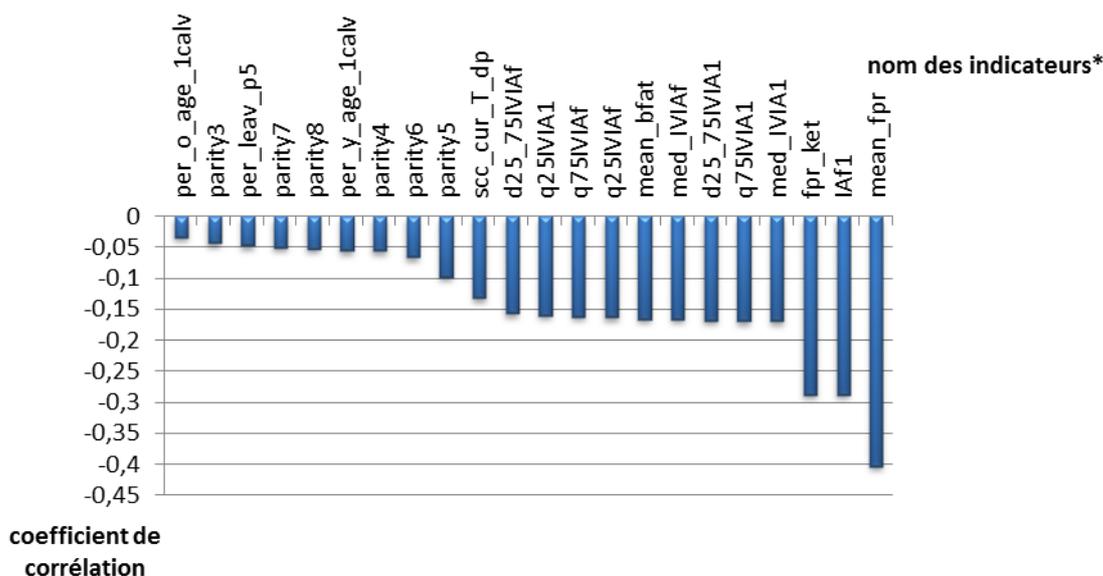


Figure 13 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 3

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions précédentes, nous obtenons pour la dimension 3 :

- Les indicateurs contribuant fortement à la construction de cette dimension et étant corrélés positivement sont les moyennes géométriques des IVIAf et IVV ainsi que les pourcentages de vaches ayant un IVIAf et un IVV long. Ce qui signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, les indicateurs qui contribuent fortement à la construction de cette dimension prennent également des valeurs élevées.
- Nous pouvons constater qu'aucun indicateur ne contribue fortement à la construction de cet axe tout en ayant une corrélation négative avec ce même axe.

Ainsi, plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la dimension 3, plus ces élevages ont des moyennes géométriques des IVIAf et IVV élevées et des pourcentages de vaches ayant des IVIAf et IVV long. Cela est cohérent car l'IVIAf est inclus dans l'IVV.

○ Contribution des indicateurs à la quatrième dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p\text{ value} < 4,42E^{-02}$) de 56 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

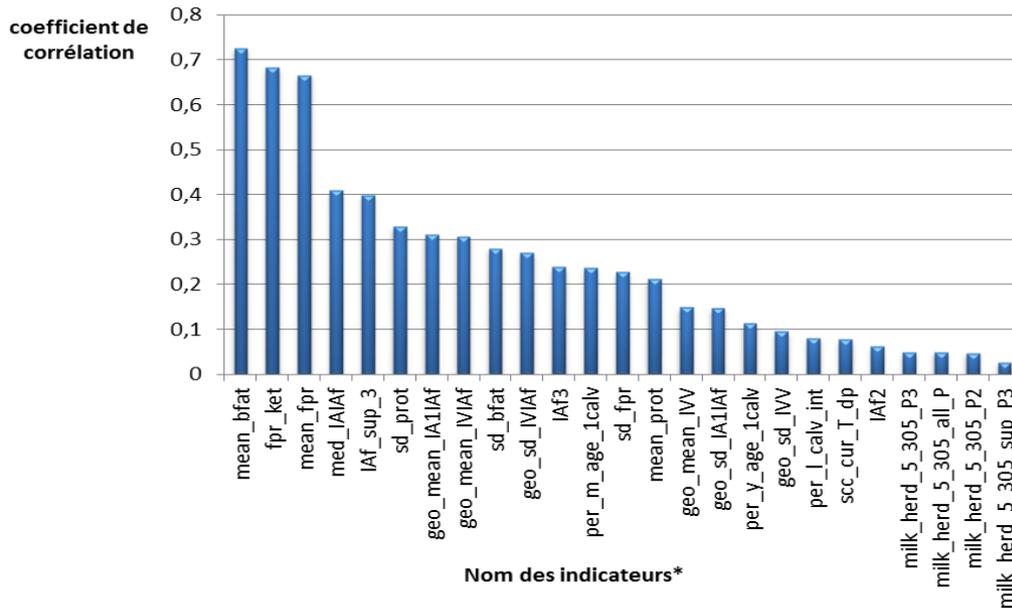


Figure 14 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 4

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

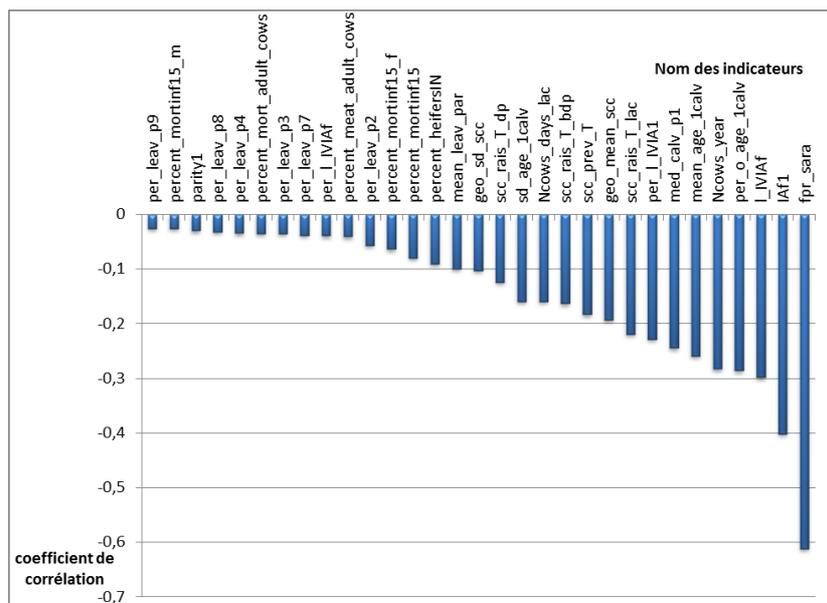


Figure 15 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 4

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions de la construction des dimensions précédentes, nous obtenons pour la dimension 4 :

- Les indicateurs contribuant fortement à la construction de cette dimension et étant corrélés positivement sont les moyennes arithmétiques des TB et TB/TP ainsi que la prévalence apparente de cétose. Cela signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, ces indicateurs prennent des valeurs élevées également.
- Seul la prévalence apparente d'ARSA présente un coefficient de corrélation inférieur à -0,5. Cet indicateur est donc celui qui contribue le plus à la construction de cette dimension en ayant une corrélation négative. Ainsi, plus les élevages ont une coordonnée faible pour la dimension 3 plus ils sont caractérisés par une prévalence apparente d'ARSA élevée.

Plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la dimension 4, plus leurs moyennes arithmétiques des TB et TB/TP ainsi que la prévalence apparente de cétose sont élevées et plus leur prévalence apparente d'ARSA est faible.

○ Contribution des indicateurs à la cinquième dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p \text{ value} < 2,77e^{-02}$) de 79 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

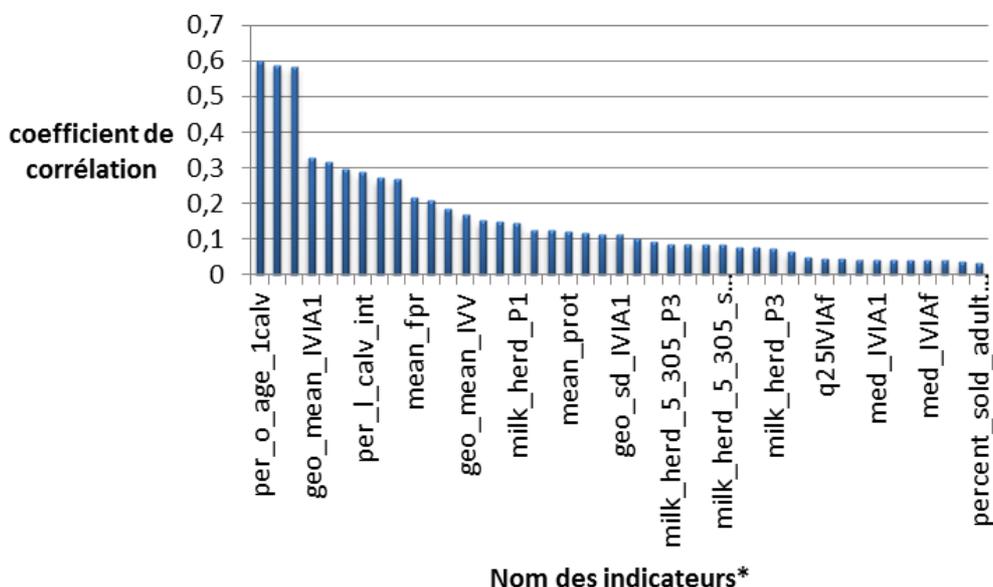


Figure 16 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 5

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

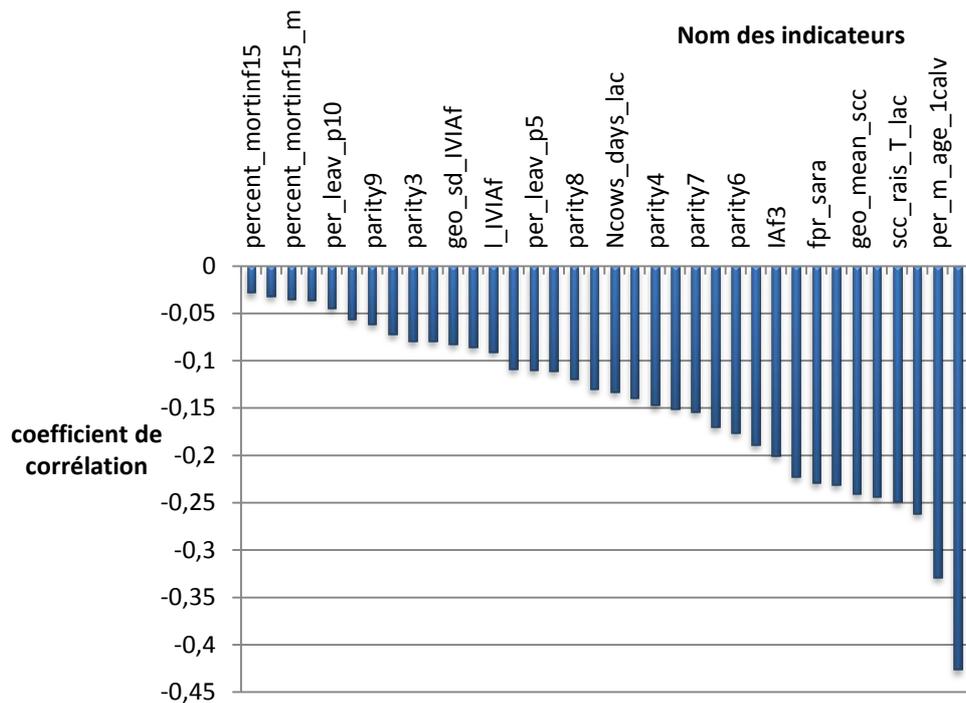


Figure 17 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 5

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions de la construction des dimensions précédentes, nous obtenons pour la dimension 5:

- Les indicateurs contribuant fortement à la construction de cette dimension et étant corrélés positivement sont : le pourcentage de génisses vêlant tardivement, la médiane de l'âge au premier vêlage et la moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage. Cela signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, ces indicateurs prennent des valeurs élevées également.
- Nous pouvons constater qu'aucun indicateur ne contribue fortement à la construction de cet axe tout en ayant une corrélation négative avec ce même axe.

Plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la cinquième dimension, plus ces élevages ont un pourcentage de génisses vêlant tardivement, une médiane de l'âge au premier vêlage et une moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage élevés.

○ Contribution des indicateurs à la sixième dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p \text{ value} < 3.63e^{-02}$) de 69 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

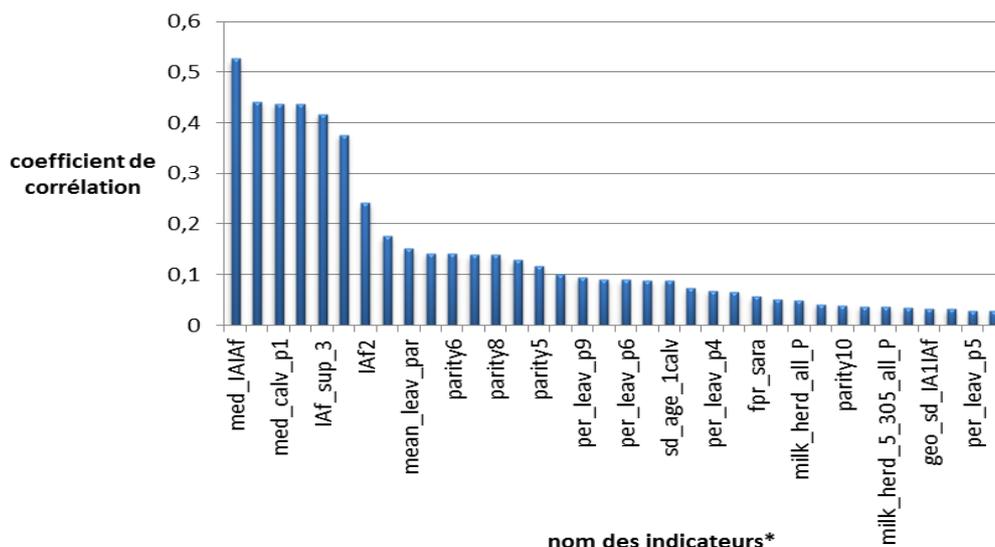


Figure 18 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 6

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

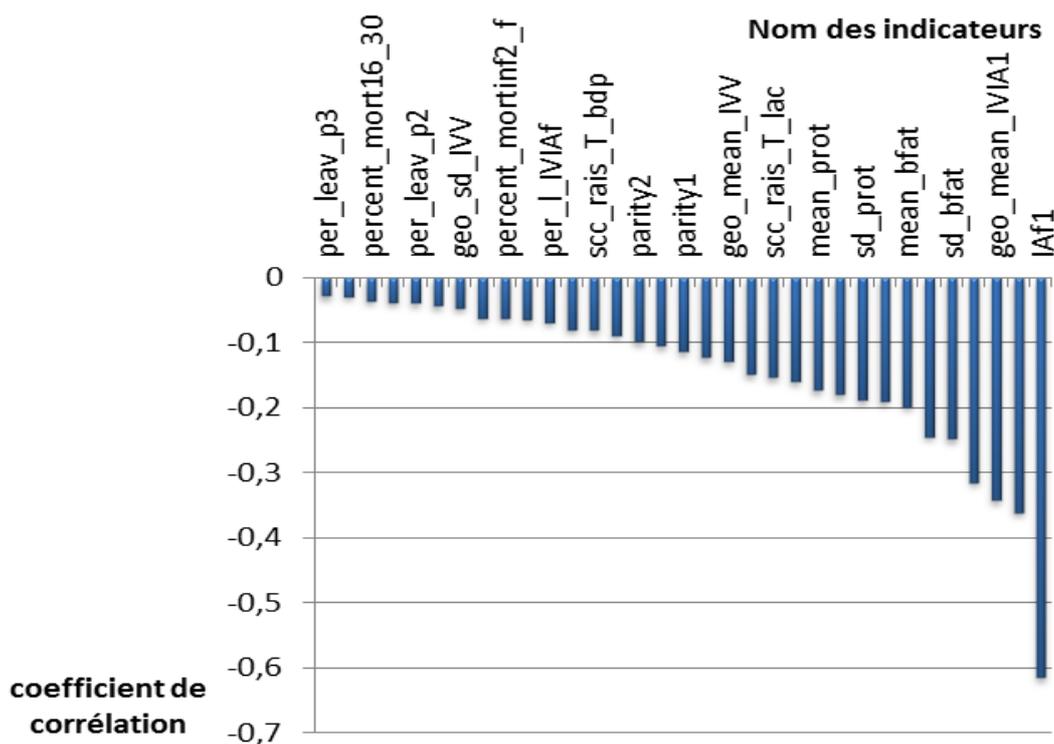


Figure 19 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 6

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions de la construction des dimensions précédentes, nous obtenons pour la dimension 6:

- Seule la médiane de l'IVIAf contribue fortement à la construction de cette dimension et est corrélée positivement. Cela signifie que lorsque les individus ont une coordonnée élevée pour cette dimension, cette médiane prend une valeur élevée également.

- Seul le pourcentage de vaches pour lesquelles l'IA1 est fécondante contribue fortement à la construction de cette dimension et est corrélé négativement. Cela signifie que lorsque les individus ont une coordonnée faible pour cette dimension, cet indicateur prend une valeur élevée.

Plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur la sixième dimension, plus ces élevages ont une médiane IVIAf élevée et pourcentage de vaches pour lesquelles l'IA1 est fécondante faible.

- Contribution des indicateurs à la septième dimension

Les graphiques ci-dessous représentent les coefficients de corrélation significativement différents de zéro ($p\text{ value} < 4.83e^{-02}$) de 79 indicateurs contribuant à la construction de cette dimension.

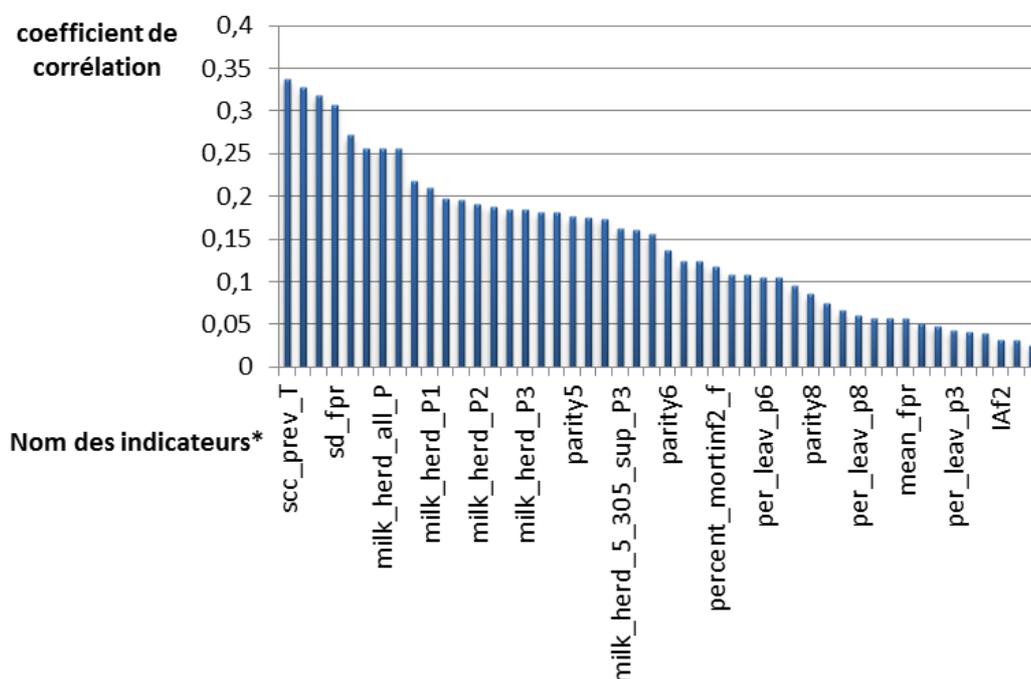


Figure 20 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation positif avec la dimension 7

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

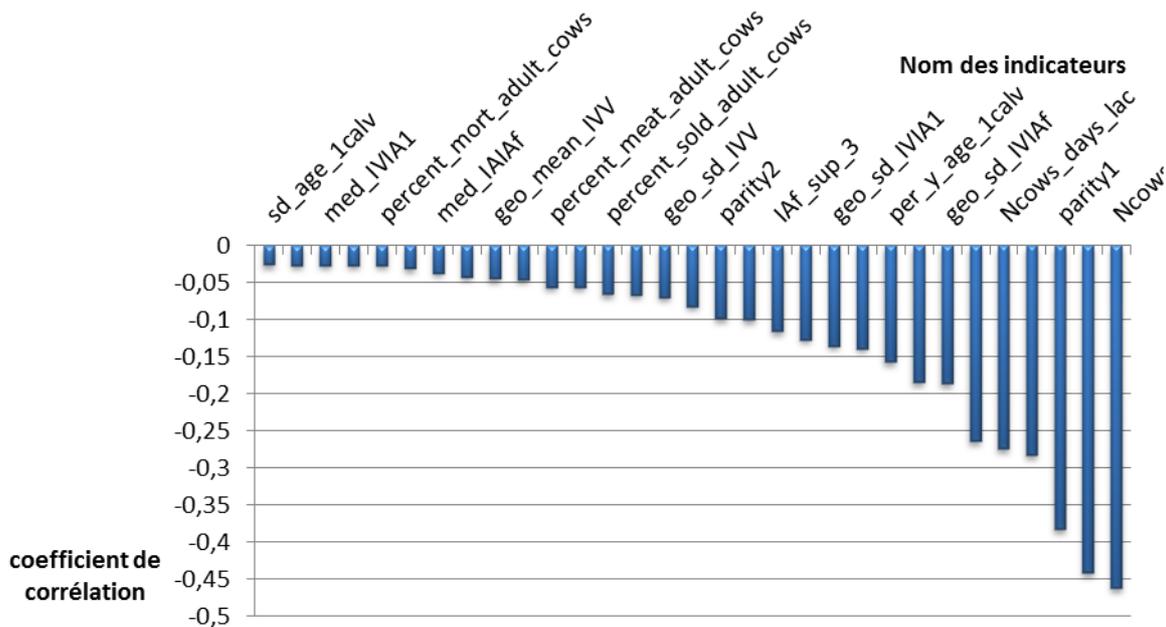


Figure 21 : Indicateurs ayant un coefficient de corrélation négatif avec la dimension 6

*Le nom de chaque variable et sa définition sont référencés dans l'annexe 3

En prenant les mêmes critères que pour l'étude des contributions de la construction des dimensions précédentes, nous pouvons constater qu'aucun indicateur n'est suffisamment corrélé à cette dimension pour la caractériser.

Cette dimension est donc la résultante de la contribution de 79 indicateurs dont aucun ne se démarque vraiment. La septième dimension n'apporte donc pas d'information particulière au sujet de la variabilité entre individus.

f) Description des dimensions à l'aide de la variable « biologique ou conventionnel »

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus suite au test de Fisher appliqué à la variable « type d'élevage » en fonction des dimensions, la dimension 4 n'est pas rapportée car le test donne des résultats non significatifs:

Tableau 20 : Résultats du test de Fisher appliqué à la variable « type d'élevage » vis-à-vis des coordonnées des élevages pour chacune des sept premières dimensions

Nom de la variable	Dimension 1		Dimension 2		Dimension 3		Dimension 5		Dimension 6		Dimension 7	
	R2	p-value										
Type d'élevage	0,06	0	0,01	0	0,01	0	0,0016	0,01	0,001	0,02	0,01	0

Pour les sept premières dimensions, la variable « type d'élevage » présente soit aucune liaison significative, soit une liaison faible avec les coordonnées des individus. Cela signifie que la variabilité des coordonnées des élevages ne s'explique pas par le type d'élevage, conventionnel ou biologique.

En conclusion, la variabilité entre élevages ne s'explique pas par leur caractère biologique ou conventionnel.

g) Bilan de l'ACP

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus suite à cette ACP

Tableau 21 : Résultats obtenus de l'ACP réalisée à partir de 95 indicateurs de 2000 élevages en 2006, 2007 et 2008

Critères	Commentaires
Qualité de l'ACP et nombre de dimensions à étudier	<ul style="list-style-type: none"> • 75% de l'information contenue dans le jeu de données initial est résumée dans les 30 premières dimensions de façon significative. • Seules les 7 premières dimensions prises individuellement apportent des informations pertinentes et interprétables au sujet de la variabilité entre individus. Ces dimensions résument environ 40 % de l'information initiale.
Qualité de représentation des individus	<ul style="list-style-type: none"> • La projection des individus dans l'espace à 7 dimensions n'est pas interprétable car trop peu d'individus y sont bien projetés avec certitude. • Les coordonnées des 30 premières dimensions sont nécessaires pour étudier par la suite l'évolution des élevages sur les 3 années d'études.
Qualité de représentation des variables et corrélation entre indicateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Sur les 95 indicateurs initiaux, seuls les indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf, les indicateurs de production laitière, la prévalence apparente des mammites en cours de lactation, la moyenne arithmétique du TB/TP, la prévalence apparente de l'ARSA, et moyenne arithmétique du TB sont bien projetés dans l'espace à 7 dimensions. • L'étude de différents plans de cet espace à 7 dimensions a montré que les indicateurs IVIA1 et IVIAf étaient corrélés entre eux ainsi que la plupart des indicateurs de production laitière.
Interprétation des dimensions :	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Dimension 1</u> : plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur cette dimension, plus ces élevages ont des prévalence et incidence apparentes en mammites en cours de lactation élevées et une production laitière faible. • <u>Dimension 2</u> : plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur cette dimension, plus ces élevages ont des indicateurs liés aux IVIA1 et IVIAf élevés et un nombre de vaches en lactation présentes faible. • <u>Dimension 3</u> : plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée, plus ces élevages ont des moyennes géométriques des IVIAf et IVV élevées et des pourcentages de vaches ayant des IVIAf et IVV long. • <u>Dimension 4</u> : plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur cette dimension, plus leurs moyennes arithmétiques des TB et TB/TP ainsi que la prévalence apparente de cétose est élevée et plus leur prévalence apparente d'ARSA est faible. • <u>Dimension 5</u> : plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur cette dimension, plus ces élevages ont un pourcentage de génisses vêlant tardivement, une médiane de l'âge au premier vêlage et une moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage élevés. • <u>Dimension 6</u> : Plus les élevages sont caractérisés par une coordonnée élevée sur cette dimension, plus ces élevages ont une médiane IVIAf élevée et un pourcentage de vaches pour lesquelles l'IA1 est fécondante faible. • <u>Dimension 7</u> : cette dimension ne caractérise pas les élevages vis-à-vis d'un indicateur particulier. • La variable type d'élevage, biologique ou conventionnel, n'explique pas la variabilité entre individus, quelles que soient les dimensions.

Cette analyse nous permet donc de caractériser chaque élevage au cours des années 2006, 2007 et 2008. Nous allons ensuite étudier l'évolution de leurs coordonnées pour définir quels élevages sont en états d'équilibre ou non et ce qui les caractérise. Pour cela les coordonnées des 30 dimensions en fonction de chaque année seront utilisées pour le calcul des barycentres de chaque élevage ainsi que pour le calcul des distances des élevages à leur barycentre respectif.

C. Résultats de l'étude des barycentres de chaque élevage

a) Définition des élevages en états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire

L'histogramme ci-dessous représente les valeurs que prennent les écarts-types des distances des élevages-années autour de leur barycentre. Nous pouvons constater que leur répartition est uni modale avec une queue de distribution qui s'étend vers la droite. La plupart des écarts-types prennent leur valeur entre 0 et 2, mais certains dépassent 6.

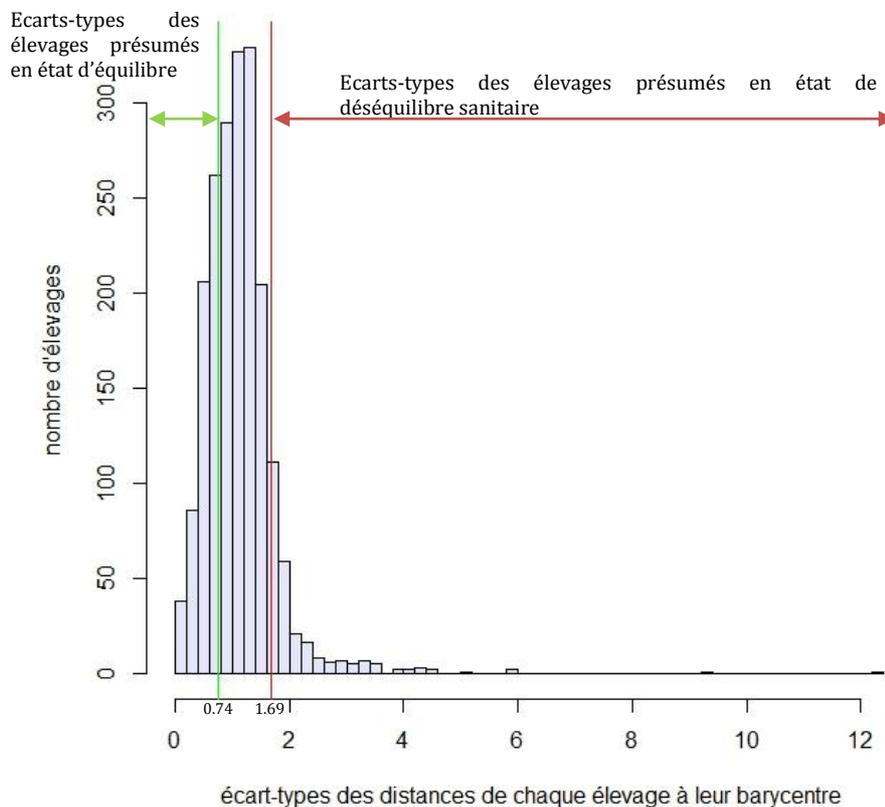


Figure 22 : Distribution des écarts-types des distances euclidiennes des élevages-années aux barycentres des élevages pour les 30 premières dimensions de l'ACP*

*La barre verte correspond au quantile à 25 %, la barre rouge au quantile à 90 %

En partant du postulat que l'état d'équilibre sanitaire est atteignable en élevage bovin laitier, notre stratégie consiste à contraster les élevages dont l'écart-type prend la plus grande valeur aux élevages dont l'écart-type prend la plus petite valeur tel que :

- 10 % des élevages de notre étude sont présumés en état de déséquilibre. Alors ces 10 % sont les élevages ayant l'écart-type des distances à leur barycentre respectif le plus élevé. Sur le graphique ci-dessus ils sont à droite de la droite verticale rouge. L'écart-type de ces élevages vis-à-vis de de leur barycentre est donc supérieur à 1,69.

- 25 % des élevages de notre étude sont présumés en équilibre. Alors ces 25 % sont les élevages ayant le plus faible écart-type des distances à leur barycentre respectif. Sur le graphique ci-dessus ils sont à gauche de la droite verticale verte. L'écart-type de ces élevages vis-à-vis de leur barycentre est donc inférieurs à 0,74.
- Les élevages qui n'entrent pas dans ces définitions ont un état présumé indéterminé. Ces pourcentages ont été choisis pour nous assurer que les élevages présumés en état d'équilibre sanitaire se distinguent bien des élevages présumés en état de déséquilibre sanitaire.

Un élevage en état d'équilibre sanitaire serait donc un élevage qui présente un écart-type des distances à son barycentre au cours des années 2006, 2007 et 2008 inférieur à 0,74. Cela signifie que les indicateurs qui le caractérisent varient peu au cours de ces 3 années. Un élevage en état de déséquilibre sanitaire serait donc un élevage qui présente un écart-type des distances à son barycentre au cours des années 2006, 2007 et 2008 supérieur à 1,69. Cela signifie que les indicateurs qui le caractérisent varient beaucoup au moins sur une des années d'étude.

b) Application de la classification ascendante hiérarchique aux élevages en état de déséquilibre sanitaire : mise en évidence de profils

Ci-dessous est reporté le diagramme des inerties de l'arbre hiérarchique issu de la CAH appliquée aux distances entre les élevages en état de déséquilibre sanitaire et leur barycentre respectif.

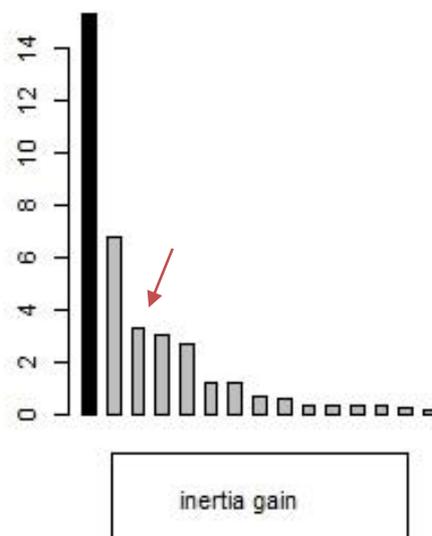


Figure 23 : Diagramme des inerties de l'arbre hiérarchique issu de la CAH

Nous pouvons constater qu'il semble nécessaire de conserver 3 classes d'élevages. En effet sur ce diagramme la marche entre la deuxième et la troisième marche (flèche en rouge) laisse à penser que l'on perd beaucoup d'informations en passant de 3 à 2 classes. En revanche, il ne semble pas utile d'ajouter plus de classes, l'information apportée par ces subdivisions étant faible. En réalité l'arbre de classification associé à ce diagramme, qui est représenté ci-dessous, nous montre qu'une des trois premières classes n'est constituée que d'un élevage (flèche verte):

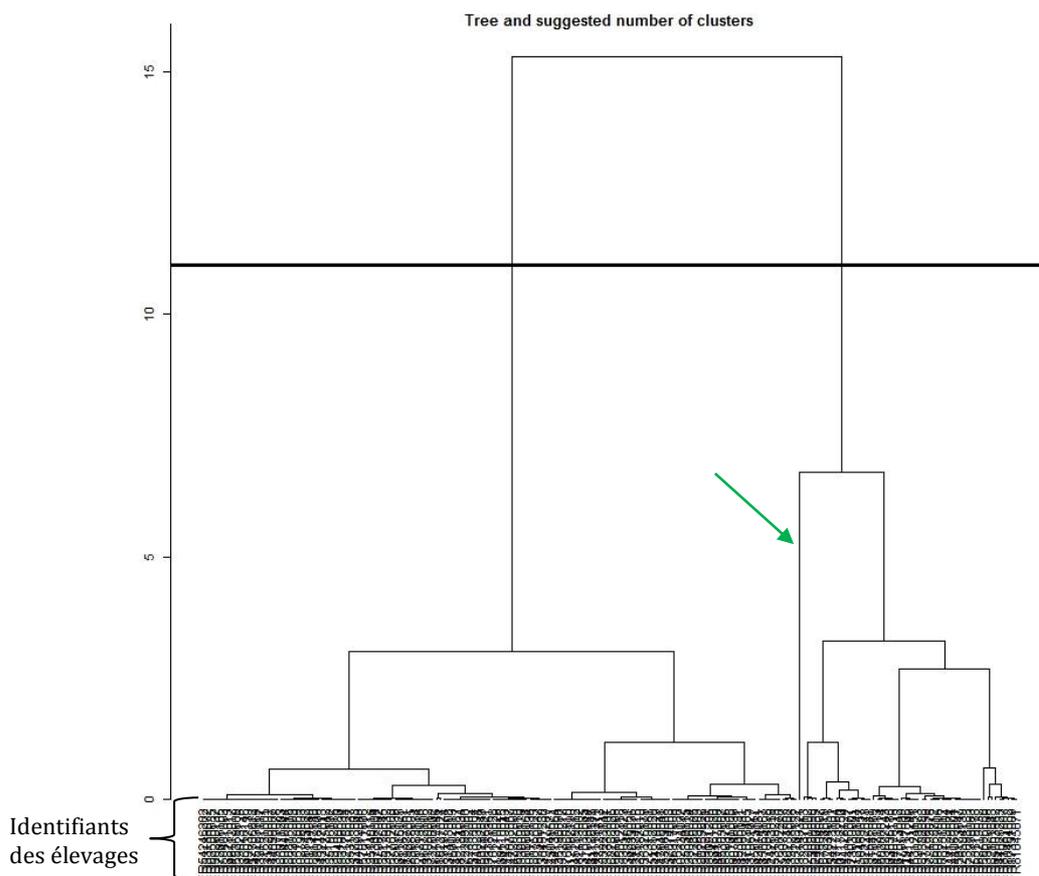


Figure 24 : Arbre de classification des élevages en état de déséquilibre sanitaire

De ce fait, bien que les informations apportées par le diagramme précédent et par cet arbre de classification nous incitent à première vue à conserver une classification en 3 classes, seule deux classes sont conservées. En effet l'étude des caractéristiques des trois classes nous apprend que (cf. annexe 5):

- La première classe d'élevage est constituée de 146 élevages soit 73 % des élevages supposés en état de déséquilibre sanitaire. Ils présentent tous des distances en 2006, 2007 et 2008 à leur barycentre respectif significativement plus faibles que les moyennes des distances 2006, 2007 et 2008.
- La deuxième classe est constituée de 53 élevages soit 26.5 % des élevages supposés en état de déséquilibre sanitaire. Ils présentent tous des distances en 2006, 2007 et 2008 à leur barycentre respectif significativement plus élevées que les moyennes des distances 2006, 2007 et 2008.
- La troisième classe est constituée d'un élevage soit 0.5 % des élevages supposé en état de déséquilibre sanitaire. Cet élevage a la particularité d'avoir des distances en 2006, 2007 et 2008 très élevées par rapport aux moyennes des distances 2006, 2007 et 2008. De ce fait il est choisi de l'associer à la classe 2.

Ainsi les élevages en état de déséquilibre sanitaire forment deux classes bien distinctes :

- **Les élevages étant très éloignés de leur barycentre et ce quelle que soit l'année.**
- **Les élevages étant peu éloignés de leur barycentre et ce quelle que soit l'année.**

c) Caractérisation des élevages en état de déséquilibre sanitaire

Pour caractériser chaque classe il faut étudier les caractéristiques de deux individus spécifiques : l'individu le plus proche du centre de gravité de la classe et l'individu de la classe le plus éloigné des autres classes. L'étude de ces deux individus permet ainsi de mettre en valeur les caractéristiques communes des individus d'une même classe (Husson et al. 2009).

Pour chaque classe, les graphiques ci-dessous nous permettent d'analyser l'évolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions des deux individus spécifiques :

➤ Classe 1

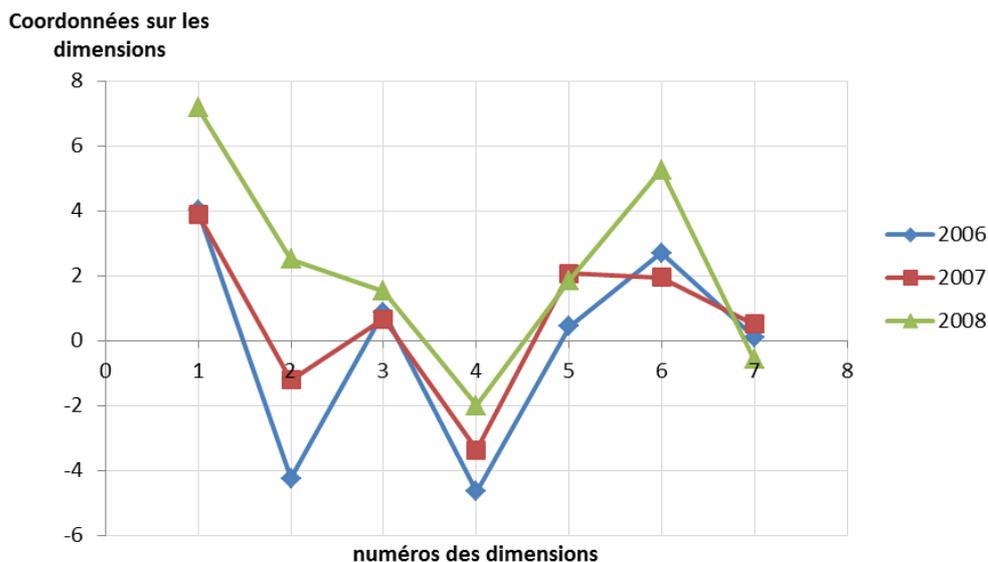


Figure 25 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage le plus proche du centre de gravité de la classe 1

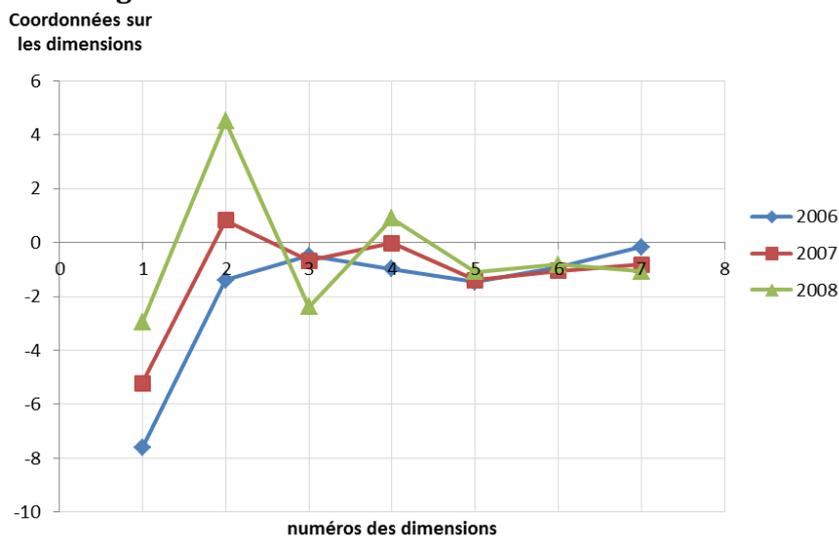


Figure 26 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage de la classe 1 le plus éloigné de la classe 2

Nous pouvons donc constater :

- Que hormis pour la 7^{ième} dimension, pour une même année ces deux élevages n'ont pas de coordonnées similaires quelles que soient les dimensions. Dans la plupart des cas ils n'ont même pas le même signe.
- D'une année sur l'autre, ces deux élevages ne présentent pas la même évolution de leurs coordonnées.

Or, comme nous l'avons vu précédemment, ces coordonnées sur les dimensions reflètent les valeurs que prennent les indicateurs qui les caractérisent. Cela signifie donc que ces deux élevages, bien qu'ils fassent partie de la même classe, ne présentent pas de points communs vis-à-vis des indicateurs de démographie, production et reproduction et que leurs évolutions sur les 3 années étudiées ne sont pas similaires. Leur similarité sur la septième dimension ne peut être interprétée car aucun indicateur n'est caractéristique de cette dimension.

L'étude de ces deux élevages caractérisant la classe 1 nous permet de dire :

- **Qu'il ne se dégage pas de profils spécifiques concernant les indicateurs de ces élevages. Chaque élevage présente des variabilités intrinsèques pour des indicateurs différents.**
- **Leur point commun est d'être peu éloigné de leur barycentre pour les 3 années étudiées par rapport aux élevages de la classe 2.**

➤ Classe 2

coordonnées sur
les dimensions

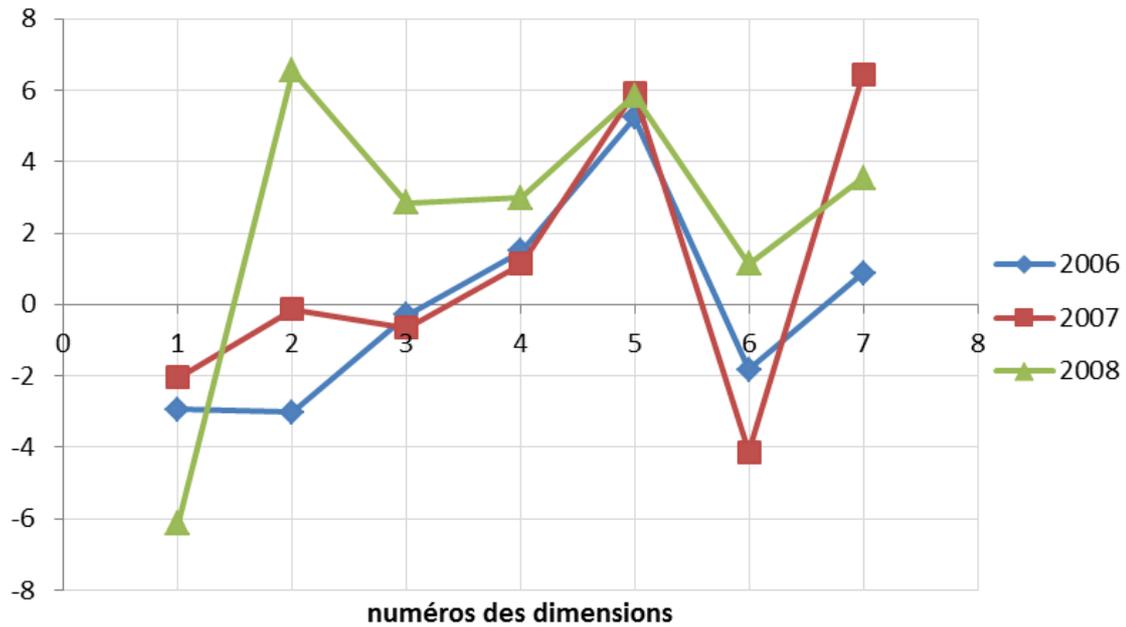


Figure 27 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage le plus proche du centre de gravité de la classe 2

coordonnées sur les
dimensions

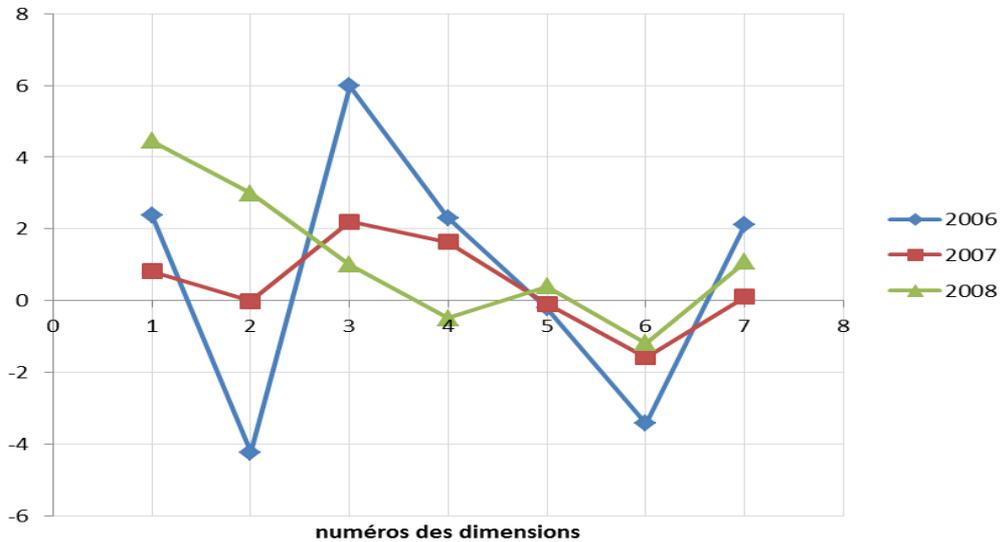


Figure 28 : Evolution des coordonnées sur les 7 premières dimensions de l'élevage de la classe 2 le plus éloigné de la classe 1

Nous pouvons constater que comme pour la classe précédente, ces graphiques ne nous permettent pas de dégager de similarités entre les deux individus remarquables de la classe 2. Ainsi, il n'est pas possible de caractériser cette classe en fonction des indicateurs et de leurs évolutions. **Le seul point commun entre ces élevages est qu'ils sont très éloignés de leur barycentre respectif pour les 3 années d'étude par rapport aux élevages de la classe 1.**

d) Bilan sur les résultats issus de l'étude des barycentres

Les élevages en état de déséquilibre sanitaire sont tels que l'écart-type des distances à leur barycentre en 2006, 2007 et 2008 est supérieur à 1,69. Parmi ces élevages il est possible de dire que :

- 73 % de ces élevages ont une distance à leur barycentre en 2006, 2007 et 2008 qui varient peu autour de leur barycentre comparée à la classe 2. Leurs indicateurs présentent donc des variations au moins sur une des trois années d'étude mais elles sont moins importantes que pour les indicateurs de la classe suivante.
- 27 % de ces élevages ont une distance à leur barycentre en 2006, 2007 et 2008 qui varient beaucoup autour de leur barycentre comparé à la classe précédente. Leurs indicateurs présentent donc des variations importantes au moins sur une des trois années d'étude comparée aux élevages constituant la classe 1.

Il n'est pas possible de dégager les caractéristiques de ces deux groupes d'élevages à l'aide des indicateurs calculés au début de l'étude ni de leur évolution.

D. Bilan des résultats

Ces résultats nous permettent de considérer qu'un élevage est présumé en état d'équilibre sanitaire lorsque, sur les trois années d'étude 2006, 2007 et 2008, la faible variabilité de ses indicateurs peut être caractérisée par un écart-type de ses distances à son barycentre inférieur à 0,74. A l'inverse, un élevage est présumé en état de déséquilibre sanitaire lorsque un ou plusieurs de ses indicateurs présentent une variabilité au cours du temps. Cette variabilité peut alors être caractérisée par un écart-type de ses distances à son barycentre au cours du temps supérieur à 1,69. Ces élevages en état de déséquilibre sanitaire forment deux groupes :

- Ceux qui varient beaucoup autour de leur barycentre.
- Ceux qui varient peu autour de leur barycentre comparés aux précédents.

IV. Discussion et perspectives

A. Une description originale des états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier

Nous l'avons vu précédemment, les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier n'ont jusque-là jamais été définis objectivement. L'originalité de cette étude réside donc dans la volonté d'établir des critères objectifs et standardisés à partir de données rétrospectives facilement disponibles pour définir statistiquement et à grande échelle ces états. Ainsi, nous avons voulu caractériser ces états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire à travers la stabilité ou l'instabilité de ces données dans le temps. De ce fait, à partir de la construction de 95 indicateurs basés sur les données de production, de reproduction et de démographie relevées en 2006, 2007 et 2008, nous avons pu caractériser 3 profils d'élevages:

- **Les élevages présumés en état d'équilibre sanitaire.** Les indicateurs de ces élevages varient peu au cours de ces trois années. Dans notre étude 25% des élevages ont été considérés comme présentant cette caractéristique et cette faible variation est caractérisée par un écart-type des 3 distances annuelles de chaque élevage vis-à-vis de son barycentre inférieur à 0,74. En effet, nous pouvons supposer que la faible variation de leurs indicateurs au cours du temps est le reflet de la stabilité sanitaire du système qu'est l'élevage bovin laitier. Il est à noter que cet état d'équilibre sanitaire n'est pas le reflet de la qualité sanitaire de l'élevage. Ainsi il est possible que des élevages en état d'équilibre aient de bonnes ou de mauvaises performances vis-à-vis des objectifs zootechniques. En effet, un élevage peut être caractérisé par des indicateurs de santé mammaire ou métaboliques médiocres et un taux de réforme élevé tout en ayant un taux de renouvellement (nombre de génisses entrant dans le troupeau et achat de VL) élevé. Si ces indicateurs restent constants au cours du temps, l'élevage est alors en équilibre sanitaire d'après les critères de notre étude. L'équilibre sanitaire tel que défini ici ne qualifie donc pas la qualité sanitaire des élevages. Il y a donc très certainement plusieurs profils d'élevages en état d'équilibre sanitaire en fonction des différentes qualités sanitaires des élevages: certains doivent avoir de très bonnes performances zootechniques, d'autres des performances zootechniques médiocres, et beaucoup doivent se situer entre les deux. Il serait donc intéressant de mettre en évidence ces différents niveaux de qualité d'état d'équilibre sanitaire et plus particulièrement d'identifier les élevages ayant des performances zootechniques médiocres afin d'observer s'ils conservent leur état d'équilibre au cours du temps.
- **Les élevages présumés en état de déséquilibre sanitaire.** Les indicateurs de ces élevages varient beaucoup au cours de ces trois années. Dans notre étude 10% des élevages ont été considérés comme présentant cette caractéristique et cette variation est caractérisée par un écart-type des 3 distances annuelles de chaque élevage vis-à-vis de son barycentre supérieur à 1,69. En effet, nous pouvons supposer que toute variation importante d'un des indicateurs au cours du temps est soit le marqueur d'un déséquilibre sanitaire (indicateurs de santé métabolique ou mammaire se dégradant, augmentation des taux de mortalité...) soit le marqueur d'un potentiel déséquilibre à venir (augmentation de taille de troupeau). Cependant, un élevage peut voir ces indicateurs varier lorsqu'il passe par exemple d'un « mauvais » équilibre sanitaire à un « bon » équilibre sanitaire suite à des modifications zootechniques afin d'avoir de meilleures performances. Dans ce cadre un tel élevage apparaîtra en état de déséquilibre sanitaire du fait de son évolution d'un état d'équilibre sanitaire de mauvaise qualité vers un état d'équilibre sanitaire de bonne qualité. Cette définition des élevages en état de déséquilibre sanitaire ne présage donc pas de la qualité sanitaire de l'élevage.

- Les indicateurs des élevages dont les variations n'entrent pas dans les critères précédant. Notre méthode d'analyse ne nous permet pas de conclure sur leur état présumé d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire. Ce profil concerne 65 % des élevages étudiés.

Parmi les élevages présumés en déséquilibre sanitaire nous avons également pu mettre en évidence deux profils basés sur les distances annuelles des élevages à leur barycentre. Ainsi, 73% de l'échantillon d'élevages présumés en état de déséquilibre sanitaire sont plus proches de leur barycentre que le reste de ce même échantillon. Nous pouvons supposer que cette différence est liée au caractère plus ou moins marqué du déséquilibre : peut-être que la variation des indicateurs pour ces élevages ne s'observe que sur une année. Cette distinction est peut-être également due au caractère même du déséquilibre : les élevages d'une catégorie sont peut-être en état de déséquilibre sanitaire car ils sont le sujet d'une période de transition d'un équilibre vers un autre alors que d'autres peuvent être caractérisés par des indicateurs instables de façon plus ou moins durable dans le temps. L'étude n'a pas permis de mettre en évidence de caractéristiques particulières vis-à-vis des indicateurs de ces deux classes d'élevages présumés en déséquilibre sanitaire. Il serait cependant intéressant d'approfondir leur description, notamment à travers une étude de terrain permettant d'étudier le carnet sanitaire d'élevage et le bien-être des animaux. Ces études de terrain pourraient peut-être mettre en avant des points communs entre élevages de même classe.

B. Discussion à propos des matériels et méthodes

a) Choix des bases de données et des périodes d'études

Les bases de données qui ont été choisies pour cette étude ont été sélectionnées pour leur disponibilité et leur fiabilité. Elles se devaient d'être facilement accessibles et de donner un état des lieux le plus exhaustif possible d'un grand nombre d'élevages et ce sans avoir à se déplacer ou à contacter chacun des élevages au vu des contraintes de temps. Les périodes d'étude choisies ont été les années 2006, 2007 et 2008. Ces périodes d'étude ont été choisies car elles correspondaient aux données disponibles. Cela a donc eu l'avantage de nous permettre de réaliser une analyse rétrospective de grande ampleur.

L'intervalle d'étude choisi, un an, nous a permis de nous affranchir des variabilités saisonnières que pourraient avoir certains indicateurs ce qui aurait compliqué l'analyse par des variations ponctuelles. Il aurait cependant été intéressant de réaliser la même étude avec un pas de temps plus court afin de vérifier que le pas de temps choisi ne cache pas des déséquilibres saisonniers importants susceptibles de caractériser certains élevages. De même il serait intéressant de faire la même étude avec un intervalle de temps plus long, par exemple de deux ans, car il est possible que la variation de certains indicateurs ne puisse s'observer que sur des périodes d'étude plus longues.

b) Critères de sélections des élevages

Cette étude avait pour but initial de décrire les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire en élevages conventionnels et biologiques. Les critères de sélection des élevages décrits dans la partie matériels et méthodes ont fait que moins de 8% des élevages sélectionnés sont des élevages biologiques. Il aurait été intéressant que la part d'élevages biologiques par rapport aux élevages conventionnels soit plus importante. En effet, nous avons vu que c'est essentiellement dans ce type d'élevage que l'état d'équilibre sanitaire constitue un objectif en soi. De ce fait une plus grande proportion d'élevages biologiques au sein de notre échantillon nous aurait sans doute permis de caractériser plus finement les états d'équilibre et de déséquilibre d'une part pour les élevages biologiques, et d'autre part pour les élevages conventionnels. En effet n'ayant pas les mêmes objectifs zootechniques, on peut se demander si

les états d'équilibre ou de déséquilibre sont similaires pour les deux types d'élevages. Pour augmenter la part d'élevages biologiques il aurait été intéressant de réitérer cette même étude en ne mettant pas de conditions de race. En effet en élevages biologiques les races rustiques et locales doivent être privilégiées (cf. annexe 1) (J. LEROUX et al. 2009). Nous n'avons sélectionné que les élevages ayant au minimum 80 % de VL de race Prim'Holstein afin de nous affranchir des variabilités inter-race tout en sélectionnant beaucoup d'élevages. Or la Prim'Holstein est une race laitière très spécialisée, elle n'est donc ni rustique, ni locale, peu d'élevages biologiques répondent donc à ce critère.

De plus, notre carte de répartition géographique des 2000 troupeaux bovins laitiers étudiés nous montre qu'il y a peu d'élevages en Bretagne. Cela est surprenant étant donné que la Bretagne est la région de France concentrant le plus grand nombre d'exploitations laitières inscrites au CL (Douguet et al. 2014). Cela est sans doute dû au nombre de contrôles laitiers minimal imposés pour la sélection des élevages dans notre étude (62 contrôles par troupeau entre 2003 et 2008) alors qu'il semblerait que le nombre de contrôles laitiers par troupeau par an en Bretagne soit plus faible. Cependant, les 2000 élevages sélectionnés sont tout de même répartis sur toute la France, notre échantillon est donc représentatif de l'ensemble des élevages français répondant aux critères choisis.

c) Traitements des données, calcul des indicateurs et applications statistiques

95 indicateurs ont été calculés pour cette étude. Beaucoup d'indicateurs, bien qu'ils n'apportent pas exactement les mêmes informations, semblent redondants. C'est le cas par exemple des indicateurs liés aux productions laitières brute et 305 jours : la production laitière 305 jours est incluse dans la production laitière brute. Toutefois, ces 2 variables apportent une information légèrement différente. L'information commune à plusieurs variables a pu être résumée et n'être prise en compte qu'une seule fois grâce à l'ACP.

De plus, il est à noter que concernant la production laitière, les indicateurs ont été calculés de façon originale : afin de ne pas prendre en compte deux fois le même animal sur une année, il a été choisi de baser les calculs sur l'intégralité des lactations se terminant dans l'année d'étude. Il serait également intéressant de refaire les calculs en comptabilisant les productions laitières par vache sur une année d'étude et en prenant en compte toutes les vaches en lactation au cours de cette année. Cela nous permettrait d'évaluer si les indicateurs de production laitière ainsi calculés nous apportent les mêmes informations que les indicateurs issus du mode de calcul utilisé dans notre étude.

Notre jeu de données initial étant constitué de nombreux individus et indicateurs quantitatifs, l'ACP est la méthode statistique de choix pour observer les points communs entre individus (ici les élevages-années) vis-à-vis de nombreuses variables quantitatives (indicateurs) et mettre en évidence les corrélations entre ces variables. En effet, à ce jour, aucune autre méthode statistique ne présente ces qualités. Cela nous a donc permis d'avoir un nouveau jeu de données nous permettant une simplification de l'interprétation par la suite.

C. Discussion concernant les résultats obtenus

a) Discussion concernant des résultats obtenus suite à l'ACP

L'ACP a démontré des corrélations qui étaient attendues du fait de la construction des indicateurs : la corrélation entre les indicateurs liés à la production laitière a ainsi été confirmée, de même que la corrélation entre les indicateurs liés au IVIA1 et IVIAf. En revanche, il est étonnant que ces deux groupes d'indicateurs ne montrent aucune corrélation entre eux. En effet sur la figure 6 nous pouvons constater qu'ils forment presque un angle à 90°. On se serait pourtant attendu à ce qu'indicateurs de production laitière et indicateurs de reproduction présentent une corrélation négative. En effet, depuis plus de 10 ans, l'amélioration génétique en production laitière s'est vue accompagnée d'une détérioration des performances de reproduction (Le Mezec 2014; Lucy 2001). Il serait intéressant d'étendre cette étude sur plus de trois ans afin d'observer si l'absence de corrélation entre ces deux groupes d'indicateurs se maintient.

De plus les résultats de notre ACP n'ont pas mis en évidence de différences notables entre les élevages biologiques et les élevages conventionnels. Ceci est étonnant car parmi les indicateurs que l'on a pris en compte pour notre étude, si la plupart des indicateurs de reproduction et de santé mammaire sont similaires en élevages biologiques comme conventionnels, l'IVV est plus long et la production laitière moindre en élevage biologique (Fall & Emanuelson 2009). On peut donc supposer que les critères de production laitière et IVV ne discriminent pas suffisamment les élevages entre eux, d'autres indicateurs équilibrant probablement les différences induites par ces critères.

b) Discussion concernant les résultats de l'étude des distances annuelles des élevages à leur barycentre

La démarche méthodologique appliquée dans cette étude nous a permis d'aboutir à la figure 23, représentant la distribution des écarts-types des distances euclidiennes des élevages-années à leur barycentre pour les 30 premières dimensions de l'ACP. Elle nous a permis de mettre en évidence que tous les élevages, au cours des années n'évoluaient pas de la même façon vis-à-vis de leur barycentre. En effet, cette figure nous montre que la répartition des écarts-types est continue et que la plupart des écarts-types ont une valeur entre 0 et 2. Cependant certains élevages présentent un écart-type supérieur à 6. Ainsi, des élevages se démarquent : certains élevages ont un écart-type des distances à leur barycentre qui reste faible, c'est-à-dire que leurs indicateurs restent stables au cours des trois années. D'autres, à l'inverse, ont un écart-type des distances à leur barycentre qui est très élevé, leurs indicateurs sont nettement moins stables comparés aux indicateurs des élevages précédents. Or nous avons vu dans la partie I que l'état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitier se définit par la stabilité ou non des indicateurs de production, de reproduction, et de démographie au cours du temps. Ainsi nous avons mis en évidence que dans notre population d'étude, des élevages sont caractérisés par la stabilité ou l'instabilité de leurs indicateurs. La répartition des écarts-types étant continue, il a donc fallu définir ce qu'était un écart-type de faible valeur et un écart-type de forte valeur afin d'identifier les élevages en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire. Afin de bien discriminer ces deux groupes il a été choisi de considérer que les 25% des élevages ayant le plus petit écart-type (écarts-types < premier quartile) étaient en état d'équilibre sanitaire et que 10% des élevages ayant le plus grand écart-type (écarts-types > quantile à 90%) étaient en état de déséquilibre. Ces pourcentages ont été choisis de façon subjective mais il semble raisonnable de penser qu'au moins 25% des élevages présentent une stabilité de leurs indicateurs au cours du temps. De même qu'il semble raisonnable de penser qu'au minimum 10% des élevages présentent des indicateurs instables sur 3 ans (problèmes sanitaires, regroupement de cheptels...). Cette part de subjectivité peut cependant nous amener à considérer que certains

élevages (écart-type très proche du premier quartile ou du quantile à 90%) sont en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire alors qu'ils ne le sont pas. Il serait donc nécessaire de comparer nos résultats à un gold-standard qui n'est jusque-là pas défini. Il serait également intéressant de réitérer cette analyse plusieurs fois avec d'autres élevages (sélectionnés parmi les élevages répondant aux critères) afin d'observer si le premier quartile et le quantile à 90% des écarts-types des distances aux barycentres sont similaires aux nôtres.

Il est à ajouter que, du fait de la définition du barycentre, notre étude ne nous a pas permis de savoir si les élevages en état de déséquilibre sanitaire avaient des indicateurs instables sur une année ou sur plusieurs années. En effet le barycentre étant la position moyenne entre chaque élevage-année, l'instabilité des indicateurs peut tout aussi bien concerner une année que toutes les années. Pour cela il faudrait poursuivre l'étude en comparant les distances entre élevages-années deux à deux, ce qui est complexe.

c) Discussion concernant la CAH des élevages présumés en état de déséquilibre sanitaire

Deux classes d'élevages ont pu être identifiées à partir de ces élevages mais il n'a pas été possible d'identifier d'indicateurs caractérisant précisément une des classes ou des variations d'indicateurs particulières. Cela montre peut-être que l'état de déséquilibre sanitaire peut être très variable d'un élevage à l'autre, ainsi il existe peut-être autant d'états de déséquilibre sanitaire que d'élevage dans cet état.

D. Perceptives

Cette étude pourrait également se poursuivre par l'analyse du carnet sanitaire, du bien-être animal et du point de vue de l'éleveur des élevages que nous avons identifiés comme étant en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire. Cela permettrait ainsi de **confronter nos définitions avec les données cliniques** et sans doute de les affiner. Cette étude pourrait peut-être nous permettre également de qualifier les 65% d'élevages de notre échantillon d'étude dont l'état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire n'a pas été déterminé.

Enfin, les transitions de l'état d'équilibre vers l'état de déséquilibre sanitaire pourraient être étudiées. Cela pourrait permettre de **caractériser l'équilibre dynamique des élevages**. En effet ils doivent sans cesse s'adapter à de nouvelles contraintes qui leurs sont imposées, de ce fait il est difficile d'imaginer que l'équilibre des élevages bovins laitiers reste statique. Pour cela il faudrait avoir accès à un plus grand nombre d'années de données de production, de reproduction et de démographie afin de repérer les élevages changeant d'état puis de les caractériser.

Conclusion

Un élevage est un système de production dont on peut supposer que certaines caractéristiques normalement stables, changent lors de problèmes sanitaires. La notion d'équilibre est souvent invoquée en élevage bovin laitier, et plus particulièrement en élevage biologique, pour matérialiser cette idée. Pourtant, ce concept n'avait jusque-là jamais été défini ni démontré objectivement et de façon standardisée.

Nous avons donc vu qu'un élevage bovin laitier peut être caractérisé par ses données de production, reproduction et démographie. Ces données permettent la construction d'indicateurs sur lesquels nous avons basé la caractérisation d'états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires. Ainsi, nous avons caractérisé l'état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire d'un élevage bovin laitier par la stabilité ou non de ses indicateurs de production, de reproduction, et de démographie au cours du temps.

A partir des données de production laitière, de reproduction, et de démographie, collectées pour 2000 élevages dont 153 biologiques de 2006 à 2008, cette étude statistique a permis d'établir rétrospectivement les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires de ces élevages. 95 indicateurs ont été calculés annuellement pour obtenir une vue la plus exhaustive possible de la qualité sanitaire des élevages. Une analyse en composantes principales a résumé 75% de l'information contenue dans ces 95 indicateurs en 7 variables non corrélées. Ainsi pour chacune des 3 années étudiées, chaque élevage occupe une certaine position dans un espace à 30 dimensions. L'évolution de chaque élevage autour de sa position moyenne pour les 3 ans a permis d'en évaluer la stabilité de ses indicateurs. Un élevage en état d'équilibre sanitaire a été caractérisé tel que ses coordonnées au cours du temps l'éloignent peu de son barycentre. A l'inverse, un élevage a été qualifié en état de déséquilibre sanitaire lorsque ses coordonnées l'éloignent beaucoup de son barycentre. Ainsi dans 35 % des cas, nous avons pu conclure qu'en à l'état d'équilibre ou de déséquilibre de ces élevages. Les 25% premiers élevages présentant les plus faibles variations de leurs indicateurs, c'est-à-dire qui étaient au plus proche de leur barycentre ont été considérés en équilibre. Les 10% premiers élevages présentant les plus grandes variations de leurs indicateurs au cours des 3 années, c'est-à-dire qui étaient le plus éloignés de leur barycentre ont été considérés en état de déséquilibre sanitaire. Une classification ascendante hiérarchique appliquée aux élevages en état de déséquilibre sanitaire a montré que parmi ces élevages, deux classes se distinguent par la position que prennent les élevages au cours des 3 années vis-à-vis de leur barycentre. La classe 1 est constituée de 73 % des élevages en état de déséquilibre sanitaire, ces élevages ont la particularité d'avoir des positions proches de leur barycentre comparés aux élevages de la classe 2. Il n'a pas été possible de caractériser ces classes d'élevages en fonction d'indicateurs particuliers.

Cette étude a permis de mettre en évidence des états d'équilibre et de déséquilibre sanitaires à travers la stabilité d'indicateurs sur 3 ans. Il serait intéressant par la suite de réitérer notre analyse à partir de données collectées sur une période plus longue, cela permettrait d'évaluer la dynamique de ces états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire. Il faudrait également confronter nos résultats aux données de terrain (carnet sanitaire et avis de l'éleveur). Cela permettrait sans doute d'affiner notre définition et de comprendre les caractéristiques des élevages en états d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire.

Bibliographie

- Aubadie-Ladrix, M. & Ferre-Fayache, D., 2007. Description des maladies métaboliques et gestion spécifique. *La Dépêche technique*, 105, p.15.
- Bareille, N., Faverdin, P. & Beaudeau, F., 2000. Effects of health disorders on feed intake and milk yield of dairy cows. *Livestock Production Science*, 83, pp.9–11.
- Bareille, N., Seegers, H. & Magras, C., 2013. Lactation et production de lait chez les bovins laitiers. *Polycopié d'enseignement Oniris, formation vétérinaire UV82*, 2, p.55.
- Bonnemaire, J. & Landais, E., 1996. La Zootechnie, Art Ou Science ? Entre Nature Et Société, L' Histoire Exemple D' Une Discipline Finalisée. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 27, pp.23–44.
- Bronner, A. et al., 2014. Surveiller les avortements chez les bovins à partir des données démographiques et de reproduction : un complément à la déclaration obligatoire ? *Bulletin Épidémiologique*, 65, pp.6–11.
- CCE, 2008. RÈGLEMENT (CE) No 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008. *Journal officiel de l'Union Européenne*, L 250(7), pp.1–84.
- Chauvin, A., Agoulon, A. & Chartier, C., 2014. Polycopié n ° 13 : Strongyloses des ruminants. *Polycopié d'enseignement Oniris, formation vétérinaire UV82*, pp.1–40.
- CNRLT, 2015. Définition du mot équilibre(On-line). Available at: <http://www.cnrtl.fr/definition/equilibre> [Accessed August 20, 2015].
- Coignard, M., 2013. *Approche épidémiologique de la santé des vaches laitières à l'aide de l'outil d'évaluation Welfare Quality®*. Thèse de doctorat : ONIRIS : 2013, 222.
- Cook, N., Oetzel, G. & Nordlund, K., 2006a. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 1. Principles of herd-level diagnoses. *In Practice*, 28(9), pp.510–515.
- Cook, N., Oetzel, G. & Nordlund, K., 2006b. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications. *In Practice*, 28(9), p.598-603.
- Cournot, A.A., 1975. *Essai sur les fondements de nos connaissances et sur les caractères de la critique philosophique* Hachette., Paris.
- Le Cozler, Y., Peccatte, J. & Porhiel, J., 2009. Pratiques d'élevages et performances des génisses laitières : état des connaissances et perspectives. *Inra Prod.*, 22(4), pp.303–316.
- Dohoo, I.R. & Leslie, K.E., 1991. Evaluation of changes in somatic cell counts as indicators of new intramammary infections. *Preventive Veterinary Medicine*, 10(3), pp.225–237.
- Douguet, M., Astruc, J. & Thomas, G., 2014. Résultats de Contrôle Laitier France 2013. , p.107.
- Emanuelson, U. & Funke, H., 1991. Effect of Milk Yield on Relationship Between Bulk Milk Somatic Cell Count and Prevalence of Mastitis. *J. Dairy Sci.*, 74(8), pp.2479–2483.

- Enemark, J.M.D., Jørgensen, R.J. & Enemark, P.S., 2002. Rumen acidosis with special emphasis on diagnostic aspects of subclinical rumen acidosis: a review. *Veterinarija ir zootechnika*, 20(42), pp.16–29.
- Ennuyer, M. & Laumonnier, G., 2013. Gestion des maladies métaboliques. In MED'COM, ed. *Gestion de l'élevage bovin laitier*. Paris, p. 153-212.
- Experton, C., 2014. L'approche globale de la santé animale : des besoins du terrain à la question de recherche. *Alter Agri*, 126, p.6-8.
- Fall, N. & Emanuelson, U., 2009. Milk yield, udder health and reproductive performance in Swedish organic and conventional dairy herds. *Journal of Dairy Research*, 76(04), pp.402–410.
- Fourichon, C. et al., 1999. Effects of disease on milk production in the dairy cow: a review. *Preventive Veterinary Medicine*, 41(1), pp.1–35.
- Fric, D., Le sanitaire en bio (On-line). Available at: <http://www.fric-denis.fr/195011191> [Accessed August 20, 2015].
- Groehn, J.A., Kaneene, J.B. & Foster, D., 1992. Risk factors associated with lameness in lactating dairy cattle in Michigan. *Preventive Veterinary Medicine*, 14(1-2), pp.77–85.
- Heinrichs, a J. et al., 2005. A prospective study of calf factors affecting age, body size, and body condition score at first calving of holstein dairy heifers. *Journal of dairy science*, 88(8), pp.2828–2835.
- Herman, N. & Raboisson, D., 2013. Acidose Ruminale Chronique Et Cétose Subclinique De La Vache Laitière. *Le Nouveau Praticien Vétérinaire*, 6(23), pp.22–30.
- Husson, F., 2014. Analyse en composantes principales (On-line). Available at: <https://tice.agrocampus-ouest.fr/mod/page/view.php?id=18675> [Accessed August 20, 2015].
- Husson, F. et al., 2015. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining R package version 1.30. Available at: <http://cran.r-project.org/package=FactoMineR>.
- Husson, F., Lê, S. & Pagès, J., 2009. *Analyse de données avec r* PUR, ed., Rennes.
- INRA & ITAB, 2013. L'approche globale pour la santé des élevages biologiques (séminaire), Paris, France.
- J. LEROUX, FOUCHET, M. & HAEGELIN, A., 2009. Elevage bio : des cahiers des charges français à la réglementation européenne. *INRA Productions Animales*, 22(3), pp.151–160.
- Lucy, M.C., 2001. Reproductive Loss in High-Producing Dairy Cattle: Where Will It End? *J. Dairy Sci.*, 84(6), pp.1277–1293.
- Madouasse, A., Huxley, J.N., et al., 2010. Can we use milk recording data to predict reproduction? An improvement on the fat to protein ratio. *Cattle Practice*, 18(2), pp.83–88.

- Madouasse, A., Huxley, J.N., et al., 2010. Somatic cell count dynamics in a large sample of dairy herds in England and Wales. *Preventive veterinary medicine*, 96(1-2), pp.56–64.
- Marceau, A. et al., 2014. Can routinely recorded reproductive events be used as indicators of disease emergence in dairy cattle? An evaluation of 5 indicators during the emergence of bluetongue virus in France in 2007 and 2008. *Journal of dairy science*, 97(10), pp.6135–50.
- Le Mezec, P., 2014. Fertilité des principales races laitières Bilan 1999-2012. , p.1-42.
- Nusinovici, S. et al., 2012. Increase in the occurrence of abortions associated with exposure to the Bluetongue virus serotype 8 in naïve dairy herds. *Theriogenology*, 78(5), pp.1140–51.
- Oetzel, G.R., 2007. Herd-level ketosis: diagnosis and risk factors. *Dairy Herd Problem Investigation Strategies: Transition Cow Troubleshooting*, pp.67–91.
- Pantoja, J.C.F., Hulland, C. & Ruegg, P.L., 2009. Dynamics of somatic cell counts and intramammary infections across the dry period. *Preventive Veterinary Medicine*, 90(1-2), pp.43–54.
- Patout, O., 2014. La maîtrise des facteurs de risques ou comment maintenir un état d'équilibre. *Alter Agri*, 126, p.9-10.
- Perrin, J.-B. et al., 2010. Using the National Cattle Register to estimate the excess mortality during an epidemic: application to an outbreak of Bluetongue serotype 8. *Epidemics*, 2(4), pp.207–14.
- Philippe, P. et al., 2013. Programme de détection et de prévention de la cétose en élevage bovin laitier, *Journées Nationales des GTV 2013 Préventions : approches opérationnelles*. pp. 415–420.
- R Core Team, 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.r-project.org/>.
- Roesch, M. et al., 2007. Subclinical mastitis in dairy cows in Swiss organic and conventional production systems. *The Journal of dairy research*, 74(1), pp.86–92.
- Rolle, C., 2009. L'équilibre sanitaire de l'élevage : un gage de maîtrise des risques (On-line). *Réussir l'Auvergne Agricole*. Available at: <http://www.auvergne-agricole.com/actualites/gds-l-equilibre-sanitaire-de-l-elevage-un-gage-de-maitrise-des-risques&fldSearch=production:U2PT6CIK.html> [Accessed August 20, 2015].
- Sauvant, D. & Ouet, A., 2010. Calculs de ration et évaluation du risque d'acidose. *INRA Productions Animales*, 23(4), pp.333–342.
- Seegers, H. et al., 2003. Décrire les performances de reproduction des troupeaux laitiers et projeter leur évolution. In *Rencontres Recherche Ruminants*. pp. 135–138.
- Serieys, F. et al., 2008. Modifier le cycle de production-reproduction : des lactations longues pour les vaches laitières? In *Journées Nationales des GTV 2008 la reproduction : porte d'entrée du conseil en élevage*. Nantes, p. 217-227.

Troccon, J.L., Coulon, J.B. & Lescourret, F., 1994. Carrière des vaches laitières : Caractérisation de phase d'élevage et relation avec les performances en première lactation. *INRA Productions Animales*, 7(5), pp.359-368.

UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins, 2011. "Guide d'intervention pour la maîtrise des mammites dans les troupeaux laitiers", Roussel P., Seegers H., Sérieys F. 134p.

De Vries, M. et al., 2011. Invited review: Associations between variables of routine herd data and dairy cattle welfare indicators. *Journal of Dairy Science*, 94(7), pp.3213-3228.

<p style="text-align: center;">ANNEXE 1 : Extrait du RÈGLEMENT (CE) No 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008 – Réglementation européenne concernant l'Agriculture Biologique (CCE 2008)</p>
--

L'Agriculture Biologique, une approche globale où terres et animaux sont liés :

(8) L'approche globale qui caractérise l'agriculture biologique veut que la production animale soit liée au sol, les effluents d'élevage étant utilisés comme engrais dans la production végétale. Étant donné que l'élevage implique toujours la gestion des terres agricoles, il convient de prévoir l'interdiction de la production animale hors sol. Il y a lieu que le choix des races à utiliser dans la production biologique animale tienne compte de leur capacité d'adaptation aux conditions locales, de leur vitalité et de leur résistance aux maladies; il importe d'encourager une grande diversité biologique.

Conditions d'introduction d'animaux de production en élevage:

(9) Dans certaines circonstances, les opérateurs peuvent éprouver des difficultés à se procurer des reproducteurs issus de l'agriculture biologique, en raison d'un capital génétique limité, ce qui pourrait entraver le développement du secteur. Il convient donc de prévoir la possibilité d'introduire un nombre restreint d'animaux non issus de l'agriculture biologique dans une exploitation à des fins de reproduction.

Article 8 : 1. *Lors du choix des races ou des souches, il est tenu compte de la capacité des animaux de s'adapter aux conditions locales, de leur vitalité et de leur résistance aux maladies.(...) La préférence est donnée aux races et souches autochtones.*

3. *Lors du renouvellement d'un cheptel ou d'un troupeau, les mammifères mâles adultes non biologiques et les mammifères femelles adultes nullipares non biologiques sont ensuite élevés selon les règles de la production biologique. De plus, le nombre de mammifères femelles est soumis aux restrictions annuelles suivantes:*

a) les animaux femelles non biologiques ne peuvent représenter plus de 10 % du cheptel d'équidés ou de bovins (...)

4. *Les pourcentages prévus au paragraphe 3 peuvent être portés à 40 %, sous réserve de l'accord de l'autorité compétente, dans les cas particuliers suivants:*

a) lors d'une extension importante de l'élevage;

b) lors d'un changement de race;

c) lors d'une nouvelle spécialisation du cheptel;

d) lorsque certaines races sont menacées d'abandon conformément à l'annexe IV du règlement (CE) no 1974/2006 de la Commission (9), auquel cas les animaux de ces races ne doivent pas nécessairement être nullipares.

Conditions de logement des animaux :

(10) Dans l'élevage biologique, il importe de veiller à ce que les besoins comportementaux des animaux soient respectés. À cet égard, pour toutes les espèces animales, il est nécessaire que le logement réponde aux besoins des animaux en matière d'aération, de lumière, d'espace et de confort, et il convient, de ce fait, de prévoir des surfaces suffisantes pour donner à chaque animal la liberté de mouvement nécessaire et pour développer le comportement social naturel de l'animal. (...) Ces conditions de logement spécifiques doivent garantir un niveau élevé de bien-être animal, l'une des priorités de l'agriculture biologique; c'est pourquoi elles peuvent aller au-delà des normes communautaires en matière de bien-être applicables à l'agriculture en général. (...)

(11) Dans la majorité des situations, il convient que les animaux puissent accéder en permanence, lorsque les conditions climatiques le permettent, à des espaces de plein air dans lesquels ils peuvent brouter, ces espaces devant en principe être gérés selon un programme de rotation approprié.

Alimentation des animaux :

(14) L'alimentation des animaux doit être assurée par des pâturages, des fourrages et des aliments obtenus conformément aux règles de l'agriculture biologique, provenant de préférence de l'exploitation de l'éleveur, et adaptés aux besoins physiologiques des animaux. (...)

Article 19 : *1. Dans le cas des herbivores, sauf pendant la période où annuellement les animaux sont en transhumance conformément aux dispositions de l'article 17, paragraphe 4, au moins 50 % des aliments proviennent de l'unité de production elle-même ou, si cela n'est pas possible, sont produits en coopération avec d'autres exploitations biologiques principalement situées dans la même région.*

Traitements médicamenteux administrés aux animaux :

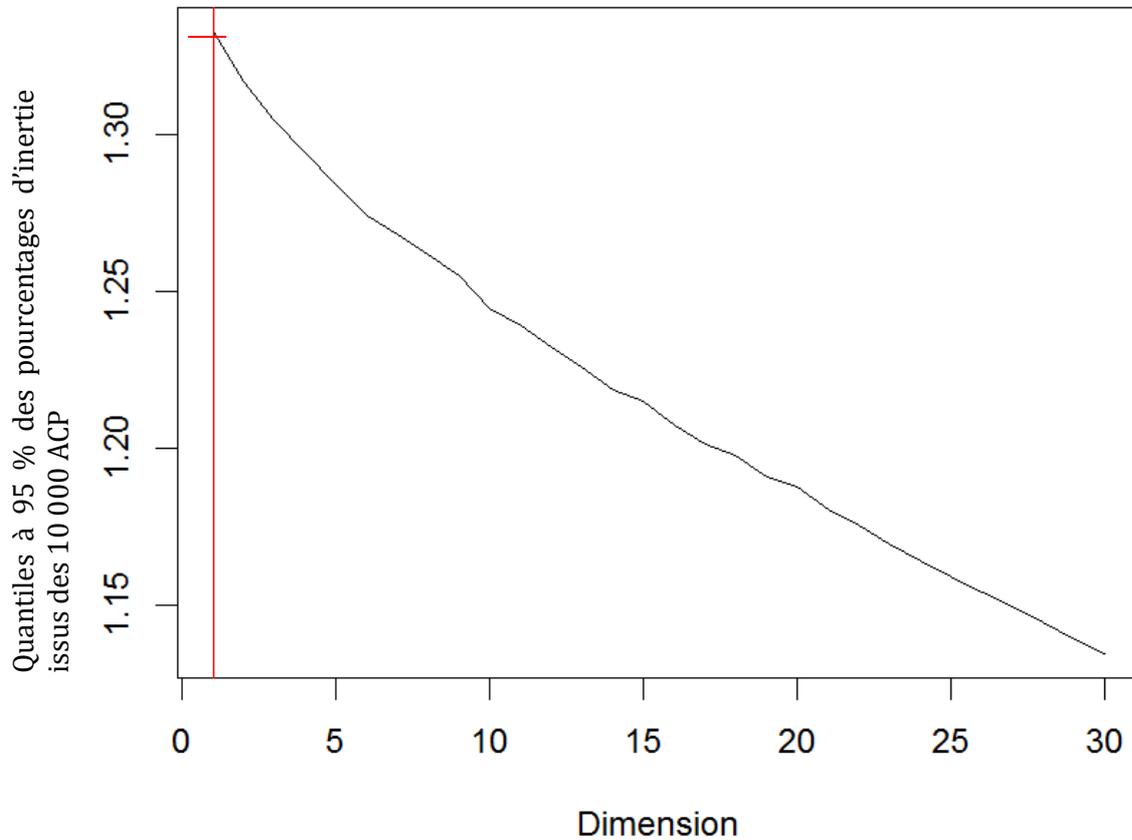
(17) L'utilisation préventive de médicaments allopathiques chimiques de synthèse est interdite en agriculture biologique. Toutefois, en cas de maladie ou de blessure d'un animal nécessitant un traitement immédiat, il convient de limiter l'utilisation de tels médicaments allopathiques au strict minimum. De plus, pour garantir l'intégrité de la production biologique pour les consommateurs, des mesures restrictives, telles que le doublement du délai d'attente après utilisation de ces médicaments, doivent pouvoir être prises.

Article 23 : *4. En dehors des vaccinations, des traitements antiparasitaires et des plans d'éradication obligatoires, si un animal ou un groupe d'animaux reçoit au cours d'une période de douze mois plus de trois traitements à base de médicaments vétérinaires allopathiques chimiques de synthèse ou d'antibiotiques, ou plus d'un traitement si leur cycle de vie productive est inférieur à un an, les animaux concernés ou les produits obtenus à partir de ces animaux ne peuvent être vendus en tant que produits biologiques et les animaux sont soumis aux périodes de conversion définies à l'article 38, paragraphe 1.(...)*

Gestion des effluents :

(12) Afin que les ressources naturelles comme les sols et l'eau ne soient pas dégradés du fait de la pollution de l'environnement liée aux éléments nutritifs, il importe de fixer la quantité maximale d'effluents d'élevage pouvant être épandue par hectare, ainsi que le nombre maximal de tête de bétail par hectare. Cette limite doit tenir compte de la teneur en azote des effluents.

ANNEXE 2 : Aide à l'interprétation du pourcentage d'inertie expliqué par les 30 premières dimensions d'une ACP



10 000 ACP ont été réalisées avec 95 variables indépendantes et 6000 individus. Ce graphique représente les quantiles à 95% des pourcentages d'inertie expliqués par les 30 premières dimensions pour les ACP réalisées (courbe trait plein noir). Les droites rouges indiquent la valeur du quantile à 95% du pourcentage d'inertie expliqué par la 1^{ère} dimension.

ANNEXE 3 : Nom des indicateurs et leur définition

○ Indicateurs de santé mammaire :

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
geo_mean_scc	Moyenne géométrique des CCS du lait de troupeau
geo_sd_scc	Ecart-type des CCS du lait de troupeau
scc_prev_T	Prévalence apparente des mammites durant la lactation
scc_rais_T_lac	Incidence des mammites durant la lactation
scc_rais_T_bdp	Incidence des mammites avant le tarissement
scc_rais_T_dp	Incidence des mammites au cours du tarissement
scc_cur_T_dp	Taux de guérison au tarissement

○ Indicateurs de santé métabolique :

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
mean_fpr	Moyenne arithmétique du TB/TP
sd_fpr	Ecart-type arithmétique du TB/TP
fpr_ket	Prévalence apparente de cétose
fpr_sara	Prévalence apparente d'ARSA
scc_rais_T_bdp	Incidence des mammites avant le tarissement
scc_rais_T_dp	Incidence des mammites au premier contrôle après le tarissement
scc_cur_T_dp	Taux de guérison au tarissement

○ Indicateurs de production laitière :

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
geo_mean_length_lac	Moyenne géométrique de la durée de lactation
geo_sd_length_lac	Ecart-type géométrique de la durée de lactation
milk_herd_all_P	Production laitière brute toutes parités confondues
milk_herd_Px	Production laitière brute en parité x (1,2,3 ou >3)
milk_herd_5_305_all_P	Production laitière 305 jours toutes parités confondues
milk_herd_5_305_Px	Production laitière 305 jours en parité x (1,2,3 ou >3)
mean_prot	Moyenne arithmétique des TP
sd_prot	Ecart-type arithmétique des TP
mean_bfat	Moyenne arithmétique des TB
sd_bfat	Ecart-type arithmétique des TB

○ Indicateurs de démographie

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
Ncows_year	Nombre de vaches laitières
percent_sold_adult_cows	Proportions de vaches laitières quittant le troupeau pour cause de vente
percent_bought_adult_cows	Pourcentage de génisses entrant dans le troupeau sur l'intervalle d'étude
percent_heifersIN	Pourcentage de génisses entrant dans le troupeau sur l'intervalle d'étude
percent_mortinf2_x	Proportion d'animaux mourant entre 0 et 2 jours inclus (x = mâles, femelles, mixte)
percent_mortinf15_x	Proportion d'animaux mourant entre 3 et 15 jours inclus (x = mâles, femelles, mixte)
percent_mort16_30_x	Proportion d'animaux mourant entre 16 et 30 jours inclus (x = mâles, femelles, mixte)
percent_mort30_calv1	Proportion d'animaux mourant ayant minimum 30 jours et le vèlant pas
percent_mort_adult_cows	Proportion de vaches laitières mourant dans l'intervalle d'étude
percent_meat_adult_cows	Proportion de vaches laitières partant pour l'abattoir dans l'intervalle d'étude

○ Indicateurs de longévité

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
parityx	Proportion d'animaux en Parité x(x allant de 1 à 10)
per_leav_px	Proportion d'animaux quittant le troupeau en parité x

○ Indicateurs de reproduction

<u>Noms des indicateurs</u>	<u>définitions</u>
mean_age_1calv	Moyenne arithmétique de l'âge au premier vêlage
sd_age_1calv	Ecart-type arithmétique de l'âge au premier vêlage
per_y_age_1calv	Pourcentage de génisses vèlant précocement
per_m_age_1calv	Pourcentage d'animaux vèlant dans 'les normes'
per_o_age_1calv	Pourcentage d'animaux vèlant tardivement
geo_mean_IVV	Moyenne géométrique de IVV
geo_sd_IVV	Ecart-type géométrique de l'IVV
per_l_calv_int	Pourcentage d'IVV long
geo_mean_IVIA1	moyenne géométrique de l'IVIA1
geo_sd_IVIA1	Ecart-type géométrique de l'IVIA1
med_IVIA1	Médiane arithmétique de l'IVIA1
d25_75IVIA1	Différence entre les quantiles arithmétiques 75 et 25 de l'IVIA1
per_l_IVIA1	Pourcentage d'IVIA1 long
geo_mean_IVIAf	moyenne géométrique de l'IVIAf
geo_sd_IVIAf	Ecart-type géométrique de l'IVIAf
med_IVIAf	Médiane arithmétique de l'IVIAf
d25_75IVIAf	Différence entre les quantiles arithmétiques 75 et 25 de l'IVIAf
per_l_IVIAf	Pourcentage d'IVIAf long
geo_mean_IA1IAf	moyenne géométrique de l'IA1IAf
geo_sd_IA1IAf	Ecart-type géométrique de l'IA1IAf
med_IAIAf	Médiane arithmétique de l'IA1IAf
IAfx	Pourcentage d'animaux pour lesquels IAx = IAF et x= 1,2,3 ou >3

ANNEXE 4 : Valeurs propres, pourcentage d'inertie et pourcentage d'inertie cumulée des 31 premières dimensions de l'ACP

Les valeurs surlignées en rouges sont les valeurs remarquables

Dimensions	Valeurs propres = inertie	Pourcentage d'inertie	Pourcentage d'inertie cumulé
1	12,0	12,7	12,7
2	8,7	9,2	21,9
3	4,7	5,0	26,9
4	3,8	4,0	30,9
5	3,0	3,2	34,1
6	2,7	2,8	37,0
7	2,4	2,5	39,5
8	2,3	2,4	42,0
9	2,2	2,3	44,3
10	1,9	2,1	46,4
11	1,9	2,0	48,4
12	1,8	1,9	50,3
13	1,7	1,9	52,1
14	1,6	1,8	53,9
15	1,5	1,6	55,5
16	1,5	1,6	57,1
17	1,4	1,5	58,6
18	1,4	1,5	60,0
19	1,4	1,4	61,5
20	1,3	1,4	62,9
21	1,3	1,4	64,3
22	1,3	1,4	65,6
23	1,2	1,3	67,0
24	1,2	1,3	68,3
25	1,2	1,3	69,5
26	1,2	1,2	70,7
27	1,1	1,2	71,9
28	1,1	1,2	73,1
29	1,0	1,1	74,2
30	1,0	1,1	75,3
31	0,9	1,1	76,3

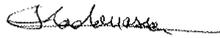
ANNEXE 5 : Résultats de la CAH, description des 3 premières classes

Classe 1	v.test	Moyenne de la classe	Moyenne générale	Ecart-type de la classe	Ecart-type général	p.value
Distance élève - barycentre en 2006	-6.0	7.2	8.1	1.9	3.6	0
Distance élève - barycentre en 2007	-7.9	7.1	8.1	1.5	2.9	0
Distance élève - barycentre en 2008	-11.2	4.5	6.5	1.7	4.1	0
Classe 2	v.test	Moyenne de la classe	Moyenne générale	Ecart-type de la classe	Ecart-type général	p.value
Distance élève - barycentre en 2006	10.7	11.7	6.5	3.7	4.1	0
Distance élève - barycentre en 2007	7.1	10.5	8.1	3.5	2.9	0
Distance élève - barycentre en 2008	4.5	10.1	8.2	3.1	3.6	0
Classe 3	v.test	Moyenne de la classe	Moyenne générale	Ecart-type de la classe	Ecart-type général	p.value
Distance élève - barycentre en 2006	9.7	43.5	8.2	0	3.6	0
Distance élève - barycentre en 2007	5.1	22.7	8.1	0	2.9	0
Distance élève - barycentre en 2008	3.7	21.6	6.5	0	4.1	2,00E-04

Vu: **Le Professeur Rapporteur**

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,
Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes
Atlantique ONIRIS

Professeur



Vu: **Le Directeur Général**

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,
Agroalimentaire et de l'Alimentation
Nantes Atlantique ONIRIS

D. BUZONI-GATEL



Nantes, le 21/09/15

Vu: **Le Président de la Thèse**

Professeur *LUSTENBERGER*



Vu: **Le Doyen de la Faculté de
Médecine de Nantes**

Professeur Pascale JOLLIET

Vu et permis d'imprimer

NOM : *CAMARA*

Prénom : *Camabline*

ABSTRACT :

This work aims to define the states of health balance and imbalance in conventional and organic dairy herds in an objective and standardized way.

To achieve this, 95 indicators constructed from production, reproduction and demographics data from 2006, 2007 and 2008 were used to characterize 2000 farms including 153 organic farms. The states of health balance and imbalance were defined in relation to the variability of these indicators over the three years of study. Thus, a principal components analysis (PCA) summarized the information contained in this data set. This has allowed us to compare in a simpler way farms whose indicators varied much during these three years to those whose indicators are stable. To do this, using the coordinates of each annual herd from PCA, each herd has been placed in a space of 30 dimensions, and its centroid has been calculated. Analysis of the positioning of all farms from its centroid was used to assess changes in indicators of all farms in the three years of study. Thus, the first 25% farms with the most stable indicators were considered to be in a state of health balance and the 10% balance first farms with the least stable indicators were considered to be in a state of health imbalance. It was not possible to characterize more precisely the farms that were in state of balance or imbalance from their health indicators other than from the evolution of the latter.

KEY WORDS:

Cattle Breeding / Milk Breeding / Herd / Organic Farming / Statistical method / Health status indicators / Principal Component Analysis / Health status

CARACTERISATION STATISTIQUE D'ETATS D'EQUILIBRE ET DE DESEQUILIBRE SANITAIRES A PARTIR DE DONNEES DE PRODUCTION LAITIERE, DE REPRODUCTION ET DE DEMOGRAPHIE EN ELEVAGES BOVINS LAITIERS CONVENTIONNELS ET BIOLOGIQUES

RESUME

Ce travail vise à caractériser les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire en élevage bovin laitiers conventionnels et biologiques de façon objective et standardisée.

Pour cela, 95 indicateurs construits à partir des données de production, reproduction et de démographie des années 2006, 2007 et 2008 ont caractérisé 2000 élevages dont 153 biologiques. Les états d'équilibre et de déséquilibre sanitaire ont été définis par rapport à la variabilité des ces indicateurs au cours des 3 années d'étude. Ainsi, une analyse en composantes principales (ACP) a résumé l'information contenue dans ce jeu de données. Cela a permis de comparer plus simplement les élevages dont les indicateurs varient beaucoup au cours de ces 3 années de ceux dont les indicateurs sont stables. Pour cela, à l'aide des coordonnées annuelles de chaque élevage issues de l'ACP, chaque élevage a pu être placé dans un espace à 30 dimensions, et son barycentre a pu être calculé. L'analyse du positionnement de chaque élevage par rapport à son barycentre a permis d'évaluer l'évolution des indicateurs de chaque élevage au cours des 3 années d'étude. Ainsi, les 25% premiers élevages présentant les indicateurs les plus stables ont été considérés en équilibre sanitaire et les 10 % premiers élevages présentant les indicateurs les moins stables ont été considérés en déséquilibre sanitaire. Il n'a pas été possible de caractériser plus précisément les élevages en état d'équilibre ou de déséquilibre sanitaire par leurs indicateurs autrement que par l'évolution de ces derniers.

MOTS CLES

Elevage bovin / Elevage laitier / Troupeau / Elevage biologique / Méthode statistique / Indicateur état sanitaire / Analyse en composantes principales / Etat sanitaire

JURY

Président : Monsieur Patrick Lustenberger, Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Rapporteur : Monsieur Aurélien Madouasse, Maître de conférences à ONIRIS

Assesseur : Madame Nathalie Bareille, Professeur à ONIRIS

ADRESSE DE L'AUTEUR

9 rue Meuris
44100 Nantes

Nom de l'imprimeur :
Impression-these.com SAS
3 rue Valade, 31000 Toulouse