

APPROCHE BIOECONOMIQUE D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES REFORMES EN ELEVAGE DE BOVINS LAITIERS

THESE
pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

COLIN Théo

Né le 02/07/1995 à BESANCON (25)

et

DUCASSE Benjamin

Né le 08/07/1995 à SAINT-GAUDENS (31)

Directeur de thèse : M. Didier RABOISSON

JURY

PRESIDENT :

M. Laurent MOLINIER

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURS :

M. Didier RABOISSON

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Mme Agnès WARET-SZKUTA

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

M. Ahmed FERCHIOU

Chargé d'enseignement contractuel à l'Ecole vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie – Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie, production animale*,
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
Mme **SOUVESTRE Marie**, *Production et pathologie aviaire*
Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES

Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

M **BESSIERE Pierre**, *Microbiologie infectiologie*
Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Laurent MOLINIER

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Département d'Epidémiologie, Economie de la Santé et Santé Publique, Université Toulouse III

Département d'information médicale, CHU de Toulouse

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,

Hommages respectueux.

A Madame le Docteur Agnès WARET-SZKUTA

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Production et pathologie porcine

Qui nous a fait l'honneur d'accepter de participer à notre jury de thèse,

Sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Didier RABOISSON

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine des populations et économie de la santé animale

Qui nous a confié ce sujet, encadré et guidé lors de l'élaboration de cette thèse,

Sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Ahmed FERCHIOU

Chargé d'enseignement et de recherche à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine des populations et économie de la santé animale

Qui nous a encadré tout au long de ce travail,

Pour sa disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et sa patience,

Sincères remerciements.

Table des matières

I. Introduction	7
I.1. Description du cheptel bovin laitier en France.....	7
I.2. Etat des lieux de la situation économique de l'élevage laitier en France	8
I.3. Enjeux zootechniques, sanitaires et sociétaux d'une meilleure gestion des réformes	9
I.4. Objectifs de l'étude	10
II. Matériel et méthode	11
II.1. Description du modèle biologique	12
II.1.a. Description de DHS	12
II.1.a.1. Fonction de production	13
II.1.a.2. Maladies	15
II.1.a.3. Traitements.....	16
II.1.a.4. Dynamique du troupeau et sortie des vaches	17
II.1.b. Stabilisation du cheptel.....	19
II.2. Modélisation économique	20
II.2.a. Simulation de la problématique d'optimisation sous contraintes de temps de travail et de longévité	21
II.2.b. Analyse économique des résultats	22
II.3. Calibration du modèle	24
II.3.a. Elaboration de DHS.....	24
II.3.b. Calibration des paramètres	24
II.4. Application à la gestion de réforme en élevage bovin laitier	25
II.4.a. Description des scénarios de gestion de la réforme	25
II.4.b. Description des scénarios d'élevage	27
II.4.c. Simulations.....	27
III. Résultats	29
III.1. Résultats biologiques.....	29
III.1.a. Causes de réformes	29
III.1.a.1. Importance relative des différentes causes de réformes	29
III.1.a.2. Variation des causes de réformes.....	30
III.1.a.3. Diversité des causes de réforme	31
III.1.b. Caractéristiques des vaches réformées.....	32
III.1.b.1. Généralités	32
III.1.b.2. Réforme des primipares.....	33
III.1.b.3. Réforme selon le stade de lactation	34

III.1.c. Variation de la production laitière et de la taille du cheptel.....	34
III.1.c.1. Production laitière	34
III.1.c.2. Taille du cheptel	36
III.1.d. Vente de génisses de renouvellement.....	38
III.1.e. Nombre moyen de semaines de vie productives	39
III.1.f. IVV	40
III.2. Analyse économique.....	41
III.2.a. Scénarios optimaux en fonction des contraintes.....	41
III.2.a.1. Contrainte de longévité	41
III.2.a.2. Contraintes de charge de travail et d'exposition aux antibiotiques ...	41
III.2.b. Analyse des revenus	43
III.2.c. Gain marginal de l'allongement de la longévité selon les critères de réforme pour la production laitière	43
IV. Discussion.....	45
IV.1. Intérêt et limites de l'outil de simulation utilisé	45
IV.2. Principaux enseignements relatifs à la gestion de la réforme en élevage	46
V. Conclusion	48
VI. Bibliographie.....	49
VII. Annexes.....	55

Table des illustrations

Figure 1 : Source (CNIEL, 2019).....	7
Figure 2 : Evolution du prix du lait moyen en France (CNIEL, 2019).....	8
Figure 3 : Evolution du prix de revient du lait (IDELE, 2019).....	9
Figure 4 : Description de l'approche générale.....	11
Figure 5 : Présentation du modèle biologique DairyHealthSim® (source : veteconomics.envt.fr/DHS).....	12
Figure 6 : Présentation de la simulation de la reproduction (Source : vet.economics.fr/DHS).....	14
Figure 7 : Description des sorties dans le modèle.....	17
Figure 8 : Arbre de décision des règles A, B et C en fonction de la densité du troupeau	18
Figure 9 : Arbre de décision des règles de réforme B.....	19
Figure 10 : Classification des scénarios pour l'analyse des résultats biologiques.....	28
Figure 11 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS12_H0_DR75.....	29
Figure 12 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS1_H4_DR75.....	30
Figure 13 : Répartition des causes de réformes en fonction des scénarios d'hygiène ...	30
Figure 14 : Répartition des causes de réformes en fonction des scénarios de boiterie ..	31
Figure 15 : Nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle et boiterie en fonction du nombre de réformes pour la production laitière.....	31
Figure 16 : Nombre de réformes pour boiterie en fonction du nombre de réforme pour mauvaise santé de la mamelle.....	32
Figure 17 : Nombre de primipares réformées en fonction des scénarios de réforme de production laitière.....	33
Figure 18 : Nombre de primipares réformées en fonction du nombre de réforme pour mauvaise santé de la mamelle et pour boiterie.....	33
Figure 19 : Nombre de vaches réformées avant leur 30ème semaine de lactation en fonction du nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle et pour boiterie.....	34
Figure 20: Quantité et qualité du lait produit en fonction des scénarios en regard de la taille du cheptel.....	35
Figure 21 : Production laitière par vache en fonction des scénarios de réforme de production laitière.....	36
Figure 22 : Production laitière totale en fonction de la taille du cheptel.....	36
Figure 23 : Taille du cheptel en fonction du Taux de réforme.....	37
Figure 24 : Production laitière totale en fonction du Taux de réforme.....	37
Figure 25 : Nombre de génisses vendues en fonction du Cullrate.....	38
Figure 26 : Nombre moyen de semaines de vie productives du troupeau en fonction du Cullrate.....	39
Figure 27 : Nombre moyen de semaines productives du troupeau en fonction des scénarios de réforme de production laitière.....	40
Figure 28 : IVV en fonction des scénarios de pré-réforme et de réforme de production laitière.....	40
Figure 29 : Marge brute annuelle moyenne (en €) en fonction des scénarios d'hygiène et de réforme concernant la production laitière.....	43
Figure 30 : Gain marginal de marge brute par semaine de présence dans le troupeau supplémentaire (en €) en fonction des scénarios de réforme concernant la production laitière.....	44

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Description des contraintes d'optimisation pour l'acceptation de la charge de travail de l'éleveur, l'objectif de longévité des vaches et d'ALEA</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 2 : Calibration des paramètres.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 3 : Description des scénarios de réforme.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 4 : Description des scénarios d'élevage.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 5 : Scénarios optimaux pour les différentes contraintes de longévité.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 6 : Scénarios optimaux pour les combinaisons de contraintes d'ALEA et de charge de travail.....</i>	<i>42</i>

Liste des abréviations

BW : Body Weight

CM : Clinical Mastitis

CR : Conception Rate

DHS : DairyHealthSim®

DIM : Day In Milk

DO : Day Open

DMI : Dry Matter Intake

DMY : Daily Milk Yield

DR : Detection Rate

FCM : Fat Corrected Milk

FSCR : First Service Calving Rate

GMQ : Gain Moyen Quotidien

H : Hygiène

IA : Insemination

IVV : Intervalle vêlage-vêlage

LS : Lamé Score

LW : Live Weight

MAT : Matière Azotée Totale

Mi : Milk

out_Mi_250 : lait produit avec un comptage cellulaire inférieur ou égal à 250 000 cellule

out_Mi_300 : lait produit avec un comptage cellulaire inférieur ou égal à 300 000 cellule

out_Mi_400 : lait produit avec un comptage cellulaire inférieur ou égal à 400 000 cellule

out_Mi_s400 : lait produit avec un comptage cellulaire supérieur à 400 000 cellule

PC : PreCull

SCC : Somatic Cell Count

Udd : Udder

UFL : Unité Fourragère Lait

UTA : Unité de Travail Annuel

VWP : Voluntary Waiting Period

WIM : Week In Milk

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Paramètres d'entrée du modèle biologique</i>	<i>55</i>
<i>Annexe 2 : Paramètres de calibrage des fonctions de production</i>	<i>56</i>
<i>Annexe 3 : Table de calcul des besoins alimentaires en UFL, protéines brutes et fibres</i>	<i>57</i>
<i>Annexe 4 : Comptage des cellules somatiques après une infection de mammite clinique par agent.....</i>	<i>57</i>
<i>Annexe 5 : Calibration des paramètres pour la simulation des maladies des veaux.....</i>	<i>58</i>
<i>Annexe 6 : Calendrier des maladies des vaches, calibrage du risque de maladies croisées et de traitement</i>	<i>59</i>
<i>Annexe 7 : Caractéristiques des traitements utilisés dans DHS</i>	<i>60</i>
<i>Annexe 8 : Description des règles de réformes</i>	<i>61</i>
<i>Annexe 9 : Présentation du cheptel stabilisé</i>	<i>62</i>
<i>Annexe 10 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS1</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 11 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS6</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 12 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS12</i>	<i>63</i>

I. Introduction

I.1. Description du cheptel bovin laitier en France

En 2020, le cheptel laitier français compte 3,7 millions de vaches adultes, contre 4,7 millions en 1995 (IDELE et CNE, 2019). Ainsi, le cheptel bovin laitier français, constitué à 65% de vaches de race Prim'holstein (IDELE et CNE, 2019) a diminué de 21% en 24 ans. On retrouve la majorité des exploitations laitières dans le grand Ouest, à savoir les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire (*Figure 1*).

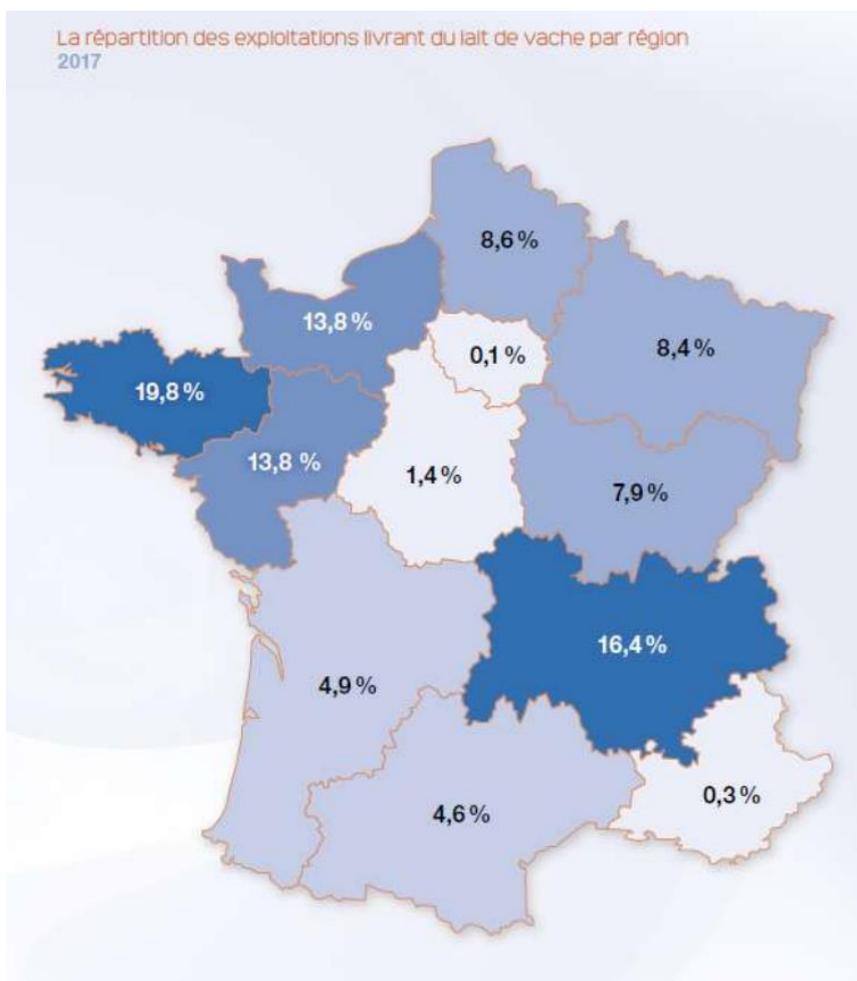


Figure 1 : Source (CNIEL, 2019)

Le nombre de détenteurs de vaches laitières a lui aussi subi une forte diminution entre 2009 et 2019. En effet, leur nombre est passé de 81 000 à 55 000 (IDELE et CNE, 2019). Ces détenteurs de vaches laitières sont « vieillissants », puisque 46% ont plus de 50 ans (IDELE et CNE, 2019).

Malgré la diminution d'effectif du cheptel laitier français, la quantité totale de lait livré a augmenté de 5% entre 2005 et 2019, portant à 23 741 000 litres de lait la production totale de lait en France en 2019 (IDELE et CNE, 2019). Ceci s'explique entre autres par une hausse de la capacité à produire du lait des vaches françaises, puisque la production moyenne par vache et par an est passée de 6136 à 7106 kg de lait entre 2009 et 2019 (IDELE et CNE, 2019).

I.2. Etat des lieux de la situation économique de l'élevage laitier en France

Mis en place en 1984, les quotas laitiers ont permis de stabiliser la production laitière en France et dans l'Union Européenne. Ils ont été abolis en 2015, et la libéralisation du prix du lait a été associée à une forte volatilité sur les marchés (bien périssable) avec des diminutions du prix du lait particulièrement fortes certaines années, notamment en 2015. Cette volatilité du prix du lait, ayant fluctué entre 274€/1000kg et 366€/1000kg de 2009 à 2018 (*Figure 2*) est donc une problématique importante dans l'équilibre économique des élevages laitiers.

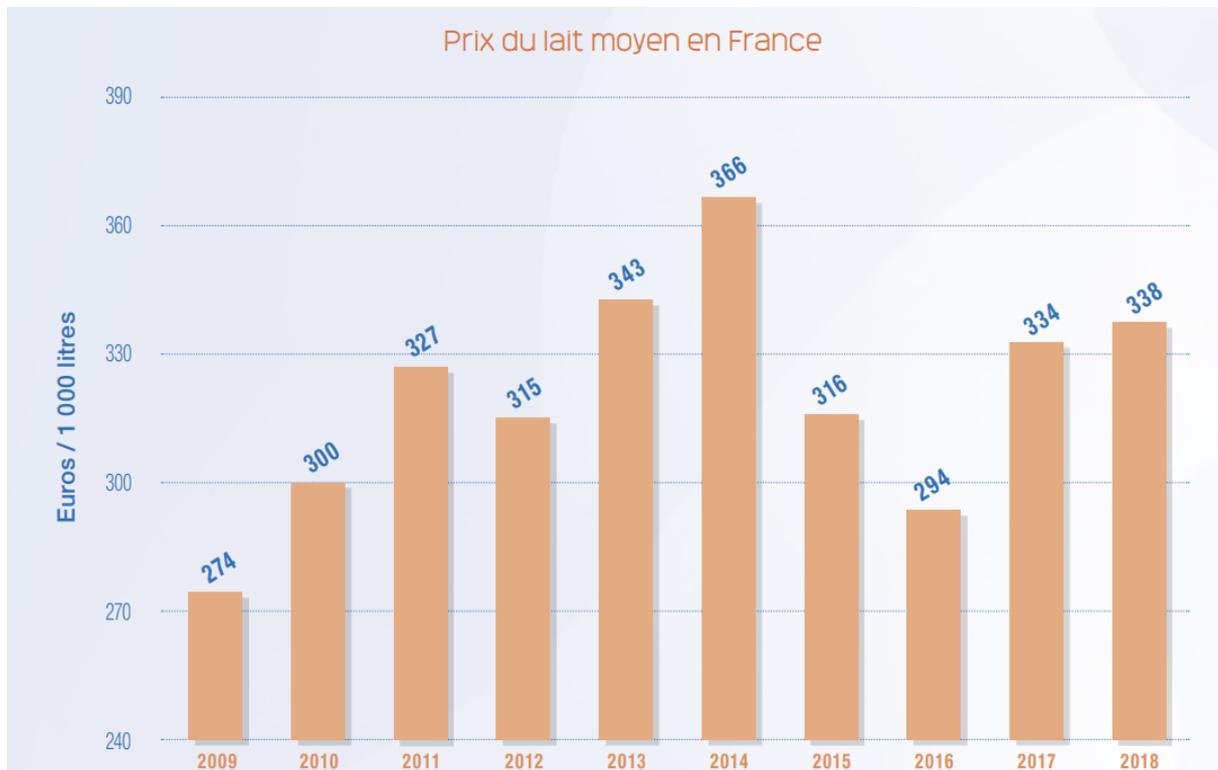


Figure 2 : Evolution du prix du lait moyen en France (CNIEL, 2019)

Entre 2005 et 2019, la rémunération permise compte tenu du prix du lait et des prix de revient de la production de lait a varié de 0,47 SMIC/unité de travail annuel (UTA) non salarié à 1,59 SMIC/UTA non salarié (*Figure 3*, IDELE, 2019), malgré un temps de travail moyen de 55h/semaine (Web-Agri, 2021). En effet, les coûts de production du lait sont proches des prix de vente, et il est parfois difficile pour les éleveurs de se rémunérer convenablement, et en 2018, 35% des éleveurs laitiers sont dans une situation économique critique (Web-Agri, 2019).

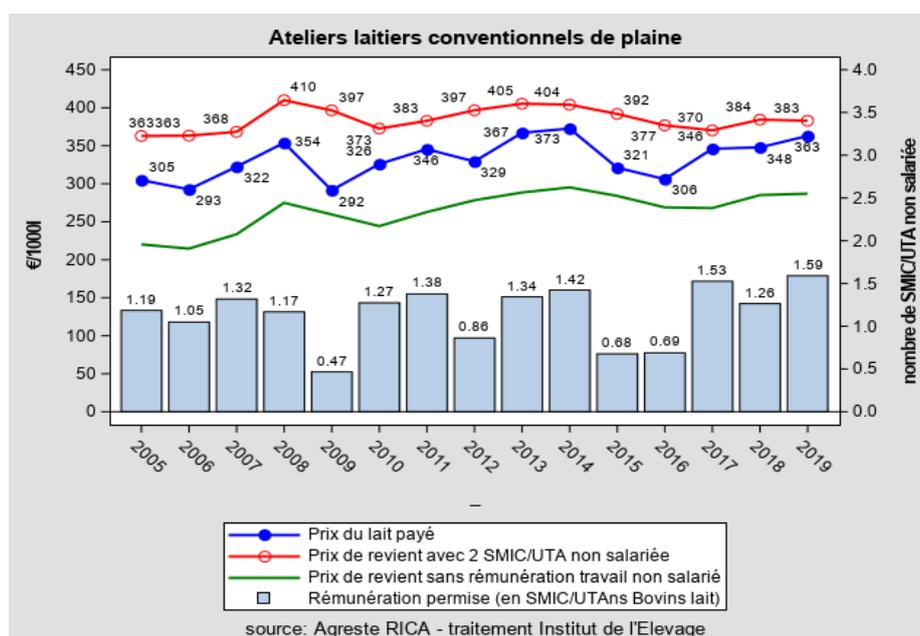


Figure 3 : Evolution du prix de revient du lait (IDELE, 2019)

I.3. Enjeux zootechniques, sanitaires et sociétaux d'une meilleure gestion des réformes

La gestion des réformes est une problématique au cœur de l'élevage laitier. En effet, tous les jours l'éleveur laitier est amené à prendre des décisions pour renouveler son troupeau. La réforme permet de réduire la prévalence et l'incidence de maladies cliniques ou subcliniques ainsi que d'améliorer la productivité du troupeau. En effet, la décision prise par un éleveur de réformer un de ses animaux sujet à des troubles de la santé doit être vue comme un outil économiquement pertinent, permettant de maîtriser la santé globale du cheptel (Gussmann, 2019).

Optimiser la gestion des réformes permet également aux éleveurs de diminuer leur utilisation de traitements médicaux, notamment d'antibiotiques. En effet, il apparaît qu'il est parfois plus intéressant de réformer une vache que de la traiter (Gussmann, 2018). Ainsi, améliorer les méthodes permettant de cibler les animaux à traiter et ceux à réformer, permet une exposition moindre du cheptel aux traitements antibiotiques, correspondant aux enjeux actuels de diminution de l'utilisation d'antibiotiques en médecine vétérinaire, et en particulier chez les animaux de rente.

La considération du bien-être animal dans notre société est de plus en plus importante aux yeux du grand public, et il apparaît que la maîtrise des réformes a un impact sur le bien-être du troupeau. En effet, le taux de réforme est un indicateur de bien-être du troupeau (Compton, 2017) : une augmentation de ce taux est synonyme d'une diminution du bien-être. Paradoxalement, la présence de vaches présentant des boiteries sévères ou des comptages cellulaires supérieurs à 400 000 cellules/mL au sein d'un troupeau sont des indicateurs d'un bien-être animal dégradé (De Vries, 2011). La réforme est ici encore un levier qu'il est possible d'utiliser pour écarter ces animaux du troupeau.

La longévité des animaux représente un autre enjeu de la maîtrise des réformes. En effet, il apparaît que non seulement une longévité plus élevée est synonyme d'une

empreinte environnementale moindre, mais elle est aussi le témoin d'un meilleur bien-être du troupeau (De Vries, 2020). Effectivement, une longévité plus élevée permet un taux de réforme plus faible, et nécessite donc d'élever moins de génisses, ce qui diminue l'empreinte environnementale lié à l'élevage. De plus, une longévité plus importante est un indicateur d'un bien-être plus élevé, et par conséquent améliore la vision de l'élevage par le grand public. Ainsi, une meilleure gestion du progrès génétique, de la reproduction et de la santé sont des facteurs permettant de diminuer le nombre de réformes, et donc d'améliorer la longévité des animaux.

D'un point de vue économique, la maîtrise des réformes est un enjeu important puisque le coût de l'élevage des génisses de renouvellement est estimé à 20% des dépenses globales de l'exploitation (Fetrow, 1988). De plus, les primipares produisent en moyenne moins de lait que les multipares. Ainsi, il apparaît qu'une diminution de la production laitière est induite par une augmentation du taux de réforme, puisque les vaches nouvellement arrivées dans le troupeau de vaches en lait ne produisent pas autant de lait que celles qu'elles remplacent (Compton, 2017).

En définitive, une optimisation de la gestion des réformes offre de belles perspectives :

- Zootechniques, grâce à une amélioration de la production et donc des résultats économiques et sanitaires, à travers une meilleure gestion de la santé, et de l'utilisation de traitements médicamenteux ;
- Sociétales grâce à une amélioration du bien-être animal en élevage ;
- Environnementales à travers une diminution du nombre de génisses de renouvellement.

Les causes de réformes sont variées, mais les principales causes sont la production laitière quotidienne et la reproduction. La santé de la mamelle est aussi une cause importante de réforme (Bascom, Young 1998). De plus, la décision de réformer un animal dépend aussi d'autres critères inhérents à l'animal, tels que son âge, son stade de gestation ou encore son stade de lactation. Toutes les interactions entre ces causes de réforme sont possibles (multicauses de réformes). Ainsi, la multiplicité des indicateurs rend la prise de décision difficile, et il est d'autant plus complexe pour un éleveur de savoir quelle vache réformer, et à quel moment le faire. L'enjeu est très important puisqu'il a été démontré que réformer trop précocement ou trop tardivement une vache peut être financièrement préjudiciable (Groenendaal, 2004). C'est pourquoi la prise de décision des réformes en élevage ne dépend pas d'une règle générale mais doit bel et bien être adaptée à chaque élevage et à chaque vache afin d'améliorer la rentabilité économique de l'élevage.

I.4. Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de proposer des stratégies de réforme adaptées aux contraintes de chaque élevage (bâtiment, profil de l'éleveur, pratiques d'hygiène) afin d'optimiser les performances technico-économiques en élevage bovin laitier. Pour cela, le modèle bioéconomique DairyHealthSimulator® (DHS®) sera mobilisé pour comparer les performances d'ateliers bovins laitiers selon différentes stratégies de réforme (critères et seuils permettant le choix des vaches à réformer pour chaque période de temps) pour différents contextes d'élevages.

II. Matériel et méthode

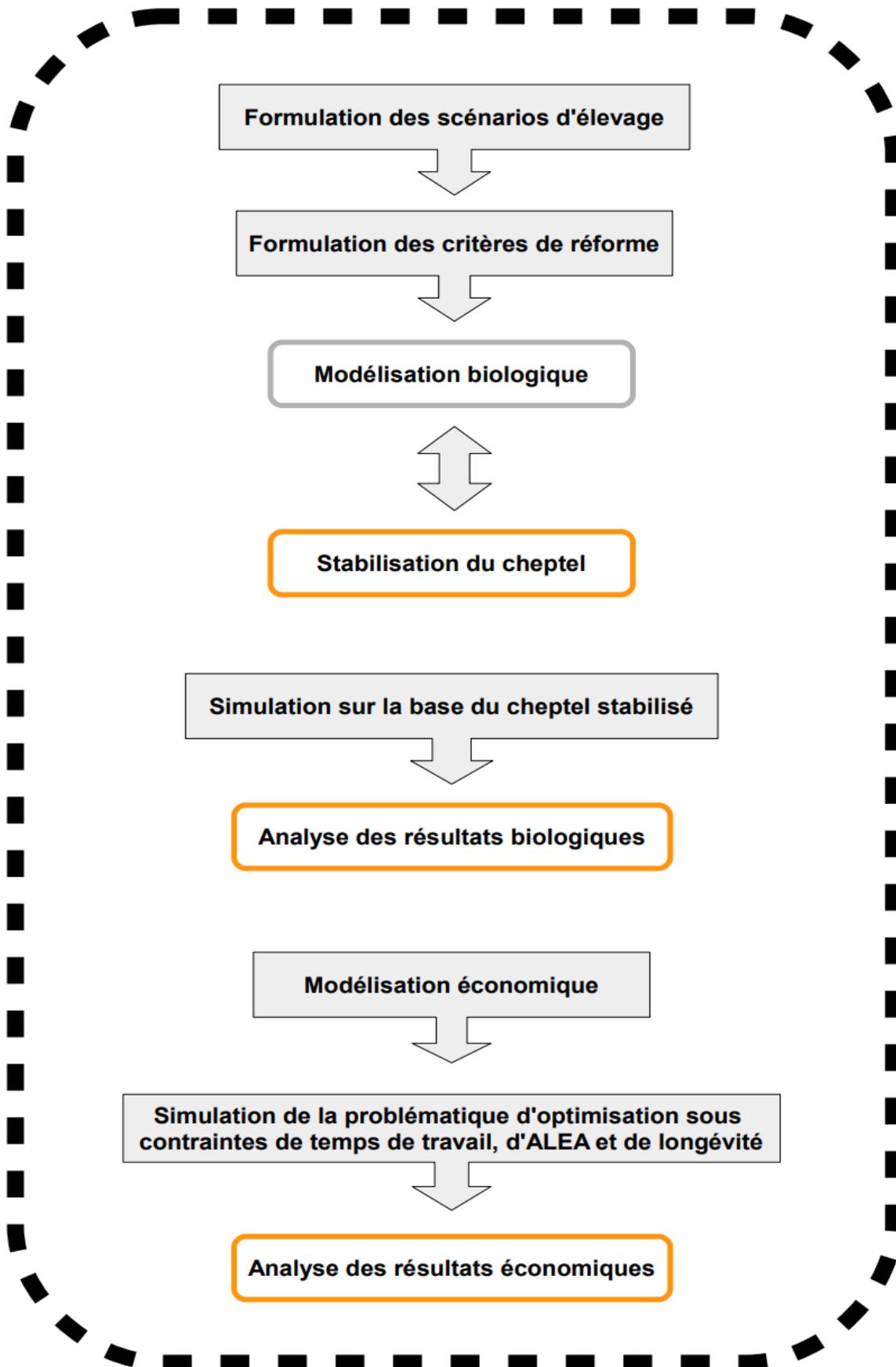


Figure 4 : Description de l'approche générale

II.1. Description du modèle biologique

II.1.a. Description de DHS

DairyHealthSim® est composé d'un modèle biologique (*Figure 5*) couplé à un modèle économique d'optimisation. Le modèle biologique est défini sur une base vache-semaine et de probabilité hebdomadaire d'évènements ; productions et maladies. Cette composante biologique vise à définir une représentation dynamique d'un troupeau laitier. Le modèle mécaniste a été construit de manière à éviter tout biais dans le modèle : en effet, chaque évènement est systématiquement défini - directement ou indirectement – pour chaque vache en suivant le modèle. Ce cadre a été appliqué aux 3 principaux types de fonctions : i) fonction de production (croissance et rendements laitiers, reproduction), ii) fonction de dommage (maladies) et iii) fonction de contrôle de dommage (traitements et pratiques d'élevages i.e., décisions prises ou stratégies adoptées par l'éleveur). Les principales sources bibliographiques (pour les risques et impacts des maladies, paramètres de lactation, croissance et besoins alimentaires, paramètres de reproduction et les paramètres de calibrage des règles de réformes) sont présentées dans l'Annexe 1. Le cas échéant, d'autres références sont présentées dans chaque Annexe.

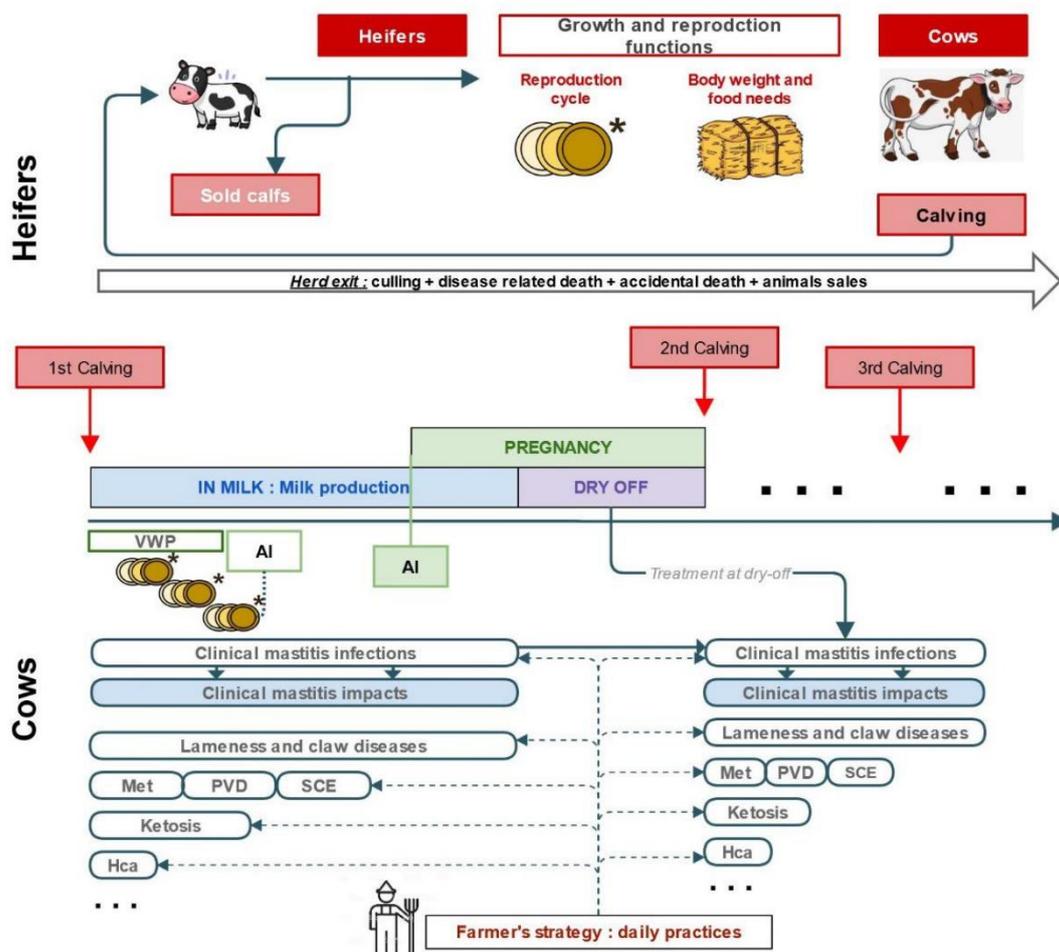


Figure 5 : Présentation du modèle biologique DairyHealthSim® (source : veteconomics.envt.fr/DHS)

II.1.a.1. Fonction de production

- Croissance

La croissance des animaux est simulée de façon à estimer le poids des veaux et des vaches à partir de leur entrée (à la naissance) jusqu'à leur sortie du troupeau. Un veau naît avec un poids de naissance BW_{Birth} puis il est ensuite caractérisé par son gain moyen quotidien (GMQ). Le poids vif des vaches est basé sur l'équation [1] (van Arendonk, 1985) :

$$BW_{a,wim,p,t} = BW_{Mat} [1 - \{1 - (BW_{Birth} BW_{Mat} - 1)^{\frac{1}{3}}\} \exp(-k d)]^3 + p_1 7 * wim p_2^{-1} \exp(1 - 7 wim p_2^{-1}) + p_3^3 t_{pc}^3 \quad [1]$$

Où $BW_{a,wim,p,t}$ représente le poids des vaches âgées de d jours à la semaine de lactation wim et au jour de gestation p_t . BW_{MAT} indique le poids à maturité, LW_{Birth} désigne le poids à la naissance, k désigne le taux de croissance, et p_1 , p_2 et p_3 désignent respectivement la diminution maximale de poids vif durant la lactation, le poids vif minimal durant la lactation et un paramètre de gestation (*Annexe2*).

Lors des simulations, chaque animal créé se voit attribuer un BW_{MAT} au hasard autour de la valeur moyenne à partir duquel un $BW_{a,wim,p,t}$ est calculé chaque semaine. Ceci permet une estimation hebdomadaire des besoins alimentaires, du statut de reproduction des génisses et de la production de viande de réforme en appliquant un rendement carcasse $Carccull$ (*Annexe2*).

- Besoins alimentaires

Les besoins nutritionnels des vaches sont calculés dans le modèle. Ces besoins nutritionnels sont calculés de façon hebdomadaire en accord avec l'état physiologique de la vache et les événements de santé. Les besoins alimentaires sont exprimés en apport de matière sèche (DMI), en unité fourragère lait (UFL, équivalent en français à l'énergie métabolisable nette) et en Matière Azotée Totale (MAT). La composition du régime alimentaire est optimisée, sur une base annuelle, dans le modèle économique de décision. Le modèle estime en premier le DMI par vache chaque semaine en fonction de sa production de lait corrigée en matière grasse (FCM), du poids vif (LW) et du DIM en suivant l'équation [2] (Giordano et al., 2012).

$$DMI_{dim,FCM,BW} = (0.372 * FCM_{dim} + 0.0968 * BW^{0.75}) * \left(1 - e^{-0.192 * \left(\frac{dim}{7}\right) + 3.67}\right) \quad [2]$$

Où $DMI_{dim,FCM,LW}$ représente l'ingestion de matière sèche (kg/vache/jour) pour une vache dont le poids BW à dim jours de lactation et produisant FCM kg. Au tarissement, DMI a été fixé à $DMI_{dry-off}$ (*Annexe 2*). A partir du calcul de DMI, les besoins en UFL et MAT sont déterminés chaque semaine en fonction du rendement laitier quotidien (DMY) par vache allant de 0,8 à 1 UFL par kg de DMI et de 0,10 à 0,17 MAT par kg de DMI comme illustré dans *l'Annexe 3*.

- Production laitière

Les productions de lait, de matière grasse et de protéines sont simulées sur la base de l'équation de la courbe de lactation de Wood (1967) [3] :

$$Y(wim) = 7 * a * tb * e^{-ct} \quad [3]$$

Où $Y(wim)$ représente le rendement hebdomadaire en lait ou en matière grasse ou en matière protéique ; a, b et c représentent respectivement un facteur d'échelle associé au rendement laitier initial, à la pente inclinée jusqu'au rendement maximal, et à la pente décroissante après le rendement maximal.

- Veaux

L'élevage des veaux est aussi modélisé sur une base hebdomadaire, comme pour les vaches. Les besoins alimentaires des veaux et des génisses sont aussi ajustés sur une base hebdomadaire.

- Reproduction

La simulation de la reproduction des vaches est basée sur une succession d'états de reproduction (Figure 6).

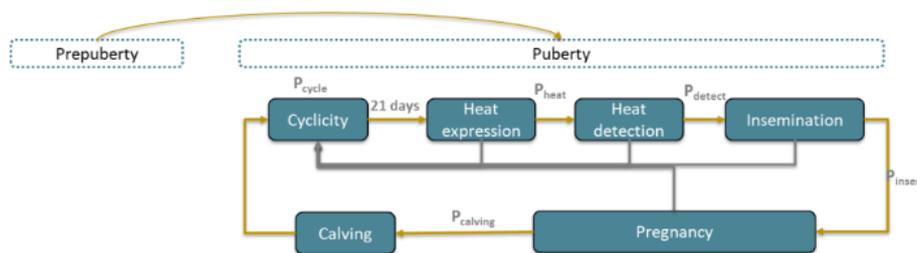


Figure 6 : Présentation de la simulation de la reproduction (Source : vet.economics.fr/DHS)

La transition d'un statut à un autre (cyclicité, expression des chaleurs, détection des chaleurs, insémination, gestation et vêlage) est conditionnée par les caractéristiques de l'animal comme :

- Des conditions de poids et d'âge pour la puberté des génisses et d'éligibilité des génisses pour la première IA ($HeifAgePub$, $HeifWeiPub$, $HeifAgeElig$, voir Annexe 2).
- L'expression des chaleurs (P_{heat}), la détection des chaleurs (P_{detect}), la probabilité d'insémination réussie (P_{insem}) et une période de gestation pour ces vaches (Annexe 2).

Durant la période de gestation, les probabilités d'avortement sont appliquées chaque semaine (P_{abort}). Le sexe des nouveaux nés est déterminé selon le $GenderRatio$. Après le vêlage, le cycle ovarien des vaches peut recommencer après une période de 15 jours d'anœstrus mais aucune insémination n'est effectuée durant la période d'attente volontaire (VWP) 8 semaines, en fonction de la probabilité du cycle (P_{cycle}) et de l'occurrence des cycles atypiques. Trois principaux cycles atypiques sont considérés : les cycles différés, les cycles avec une phase lutéale prolongée et les cycles interrompus. Lorsque la cyclicité de la vache ne reprend pas après la 6^{ème} semaine de

lactation, l'ovulation est alors retardée et cela impacte le taux de réussite en première IA (FSCR : First Service Calving Rate). Plusieurs facteurs de risque peuvent impacter les cycles différés dans le modèle : i) les cétozes subcliniques, ii) la parité qui peut engendrer un risque d'anœstrus, et iii) les endométrites qui retardent systématiquement de 3 jours le nouveau cycle qui démarre. Le prolongement de la phase lutéale du cycle est impacté par différents facteurs de risque (les métrites, les endométrites, la reprise précoce de la cyclicité, et la parité) qui vont causer un risque de persistance du corps jaune. Dans le modèle, la persistance du corps jaune provoque l'allongement de la durée du cycle. Celle-ci sera variable : 1 semaine dans 45 % des cas, 2 semaines dans 45 % des cas ou 3 semaines dans 10 % des cas et ceci aura des conséquences sur le taux de conception (CR). Les cycles interrompus sont impactés principalement par les cétozes subcliniques qui auront pour conséquence l'allongement de la phase folliculaire. Dans le modèle, chacun de ces cycles atypiques peut repasser à un cycle normal, mais il peut aussi y avoir passage d'une interruption de cycle ou d'un cycle avec prolongement de la phase lutéale à un cycle retardé.

II.1.a.2. Maladies

Les problèmes de santé ont été définis pour chaque vache chaque semaine mécaniquement, basé sur l'incidence de base, des facteurs de risque spécifiques à chaque vache et ceux du troupeau (avec la contamination du troupeau et les pratiques de l'éleveur). Les maladies ont été mises en œuvre en suivant l'altération de 3 fonctions de production. Les simulations des maladies des vaches et leurs traitements incluent les dystocies, les hypocalcémies subcliniques, les fièvres de lait, les rétentions placentaires, les métrites puerpérales, les écoulements vaginaux purulents, les endométrites subcliniques, les déplacements de caillette à droite et à gauche, les boiteries, les cétozes subcliniques, les cétozes cliniques et les mammites.

La contamination de la mamelle saine par six agents pathogènes a été prise en compte, avec une occurrence de risque hebdomadaire (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.*, *Klebsiella spp.*, *Escherichia coli*, les culture négatives et les autres pathogènes). Les infections de mammites cliniques se produisent durant la lactation (un pathogène par semaine maximum) en fonction du rang de lactation, du DIM, du numéro de la mammite (premier cas, première rechute, seconde rechute ou plus), de l'historique des maladies de la vache (fièvre de lait, métrite, cétoze subclinique). Durant la lactation, la production hebdomadaire de cellules somatiques est simulée par une production de base SCC comme formulé dans les équations [4] et [5] (Østergaard et al., 2005) et une augmentation de SCC dans le cas de mammite clinique infectieuse est présentée dans l'Annexe 4 (Cha et al., 2004).

$$\text{SCC}_{L1} = 1000 (335 \text{ EXP}(-0,55\text{wk}) + 65 + 1 \text{ wk}) \quad [4]$$

$$\text{SCC}_{Ls1} = 1000 (335 \text{ EXP}(-0,55\text{wk}) + 65 + 1,5 \text{ wk}) \quad [5]$$

Les maladies concernant les membres et les pieds ont été simulées par une fonction « lame » qui définit de manière probabiliste les événements de boiterie hebdomadairement et calcule un score de boiterie (LS) en 5 points chaque semaine (Sprecher et al., 1997). Le score gagne un point pour chaque boiterie simulée et perd

25% au tarissement des vaches. LS définit un statut boiterie par vache et conditionne son traitement.

Les problèmes de santé des veaux pris en compte sont la mortalité néonatale, les diarrhées néonatales, les septicémies, les omphalites jusqu'à un mois d'âge, puis les maladies respiratoires jusqu'à 6 mois d'âge. L'échec de transfert de l'immunité passive (apport de colostrum) est pris en compte dans le risque de maladies des veaux. Toute la mortalité des veaux est expliquée par ces problèmes. Les problèmes accidentels (fracture de patte...) ont été exclus. Les paramètres de risque d'incidence utilisés pour simuler les maladies des veaux sont présentées dans l'*Annexe 5*.

Pour chaque vache simulée, l'occurrence hebdomadaire de chaque maladie dépend d'un risque final calculé qui accumule (i) un risque d'incidence de base ajusté en fonction des caractéristiques de la vache (WIM, rang de vêlage, rendement laitier) et suivant un calendrier définissant la sensibilité des vaches aux maladies pour chaque WIM ou âge (*Annexe 6*), (ii) les risques de maladies croisées (comment une maladie peut-elle être influencée par une autre) (*Annexe 6*) appliqués comme risques relatifs sur le risque d'incidence de base, (iii) les risques de gestion (les habitudes et pratiques de l'éleveur sont pris en charge comme scénario), (iv) et le risque relatif au traitement.

Pour chaque veau simulé, l'occurrence hebdomadaire de chaque maladie dépend d'un risque final calculé qui accumule (i) un risque d'incidence de base suivant un calendrier définissant la sensibilité des veaux aux maladies pour chaque semaine de vie (*Annexe 5*), les risques de gestion (prenant en compte le transfert de l'immunité passive dépendant du scénario) et (iii) les risques relatifs au traitement.

II.1.a.3. Traitements

Les fonctions de contrôle des altérations à la production simulent les traitements pour les vaches malades et leurs conséquences sur l'évolution de la santé des vaches ou du troupeau traité. Les dystocies, les cétooses subcliniques et les déficiences de transfert immunitaire ont déjà été exclues puisqu'aucun traitement n'avait été fait dans chacune de ces situations (en raison du statut subclinique de ces maladies ou de la prise en charge par intervention uniquement). Les probabilités d'intervention des éleveurs et vétérinaires ont été déterminées par approche participative et par expérience d'auteurs (*Annexe 6* et *Annexe 7*). Chaque modèle de traitement est caractérisé par 3 éléments, nommés (i) la composition du traitement incluant les médicaments (c'est-à-dire antibiotiques, anti-inflammatoires...) et la nature de l'intervention (consultation, chirurgie...) (ii) l'effet espéré sur la guérison de la maladie et le risque de rechute (c'est-à-dire, une mammites clinique non traitée augmentera les effets de l'infection et le risque de rechute de 50%) et (iii) trois implications socioéconomiques que sont le travail de l'éleveur pour la gestion des maladies, le coût du traitement et les coûts vétérinaires. Les informations concernant l'application des médicaments et leur composition ont été extraites du RCP des médicaments vétérinaires (*Annexe 7*).

Pour les mammites, le schéma thérapeutique est déterminé en fonction de (i) la valeur de SCC de la vache lors du dernier mois (ii) le nombre de mammites durant la lactation (première, seconde, etc.) et la situation de récurrence ou de rechute (re-infection après 3

semaines), (iii) et si le traitement est administré dans les délais, retardé ou si la mammites n'est pas détectée (*Annexe 4*).

II.1.a.4. Dynamique du troupeau et sortie des vaches

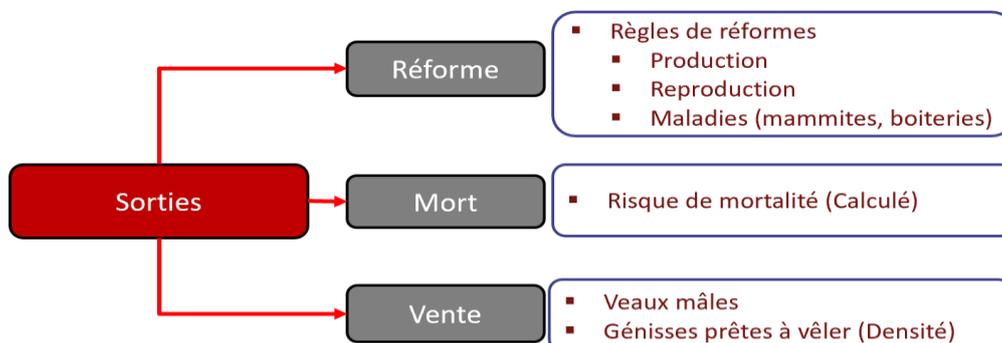


Figure 7 : Description des sorties dans le modèle

Un objectif de taille de troupeau a été fixé à 100 vaches en lactation, en considérant les contraintes de bâtiment. Ainsi la taille du troupeau de vaches en lactation a été calculée de façon hebdomadaire, en incluant les entrées (vaches ayant vêlé et intégrant le troupeau de vaches en lactation) et les sorties (vaches réformées ou mortes, *Figure 7*). Dans le modèle, aucun animal n'est acheté et seulement les veaux femelles nés dans l'élevage sont élevés afin d'intégrer le troupeau de vaches en lait.

L'éleveur garde uniquement les veaux femelles. Les veaux mâles sont vendus à un mois d'âge. Les génisses prêtes à vêler peuvent également être vendues deux semaines avant le vêlage quand la capacité de l'élevage laitier est saturée. Aucune contrainte sur le bâtiment des veaux et des génisses n'a été prise.

Afin de se rapprocher des prises de décisions habituelles des éleveurs vis-à-vis des vaches à réformer, un ensemble de règles ont été définies afin de s'assurer que les décisions de réforme dépendent de la taille du troupeau, des caractéristiques de production du troupeau et des performances en matière de santé. Les règles de réformes ont été appliquées à toutes les vaches chaque semaine, elles sont basées sur le rendement laitier, le statut de gestation, les boiteries, et la santé de la mamelle. Ces critères représentent les principaux critères utilisés par les éleveurs lors de décisions de réformes. Les autres problèmes de santé ne sont pas pris en considération dans les réformes, mais ils ont une influence indirecte par les performances de production et de reproduction et par la santé de la mamelle et les boiteries. De plus, un nombre maximal de vaches réformées par semaine est appliqué pour limiter les effets dents de scie.

Les animaux peuvent également être pré-réformés, c'est à dire que les vaches ne sont plus inséminées (donc décision de réforme) mais elles sont conservées pour finir leur lactation avant de les réformer. Il s'agit des vaches âgées ou ayant des performances médiocres en reproduction (échec d'insémination et jours ouverts). Ainsi, ces animaux sont réformés lorsque leur production devient trop faible, lorsqu'ils sont atteints par des boiteries sévères, ou sujets aux mammites.

Les règles de réformes qui s'appliquent dépendent de la densité d'animaux dans le troupeau de vaches en lactation (Figure 8). En effet, lorsque la densité de vaches est en dessous de 0,8, aucune réforme n'est appliquée. Si celle-ci est entre 0,8 et 0,95, une seule règle dite "A1" s'applique. Elle dépend uniquement de la production laitière quotidienne et du stade de gestation.

Lorsque la densité est comprise entre 0,95 et 1,1 (objectif de stabilisation du troupeau), la règle A1 s'applique toujours, puis de nouvelles règles dites "B1" à "B13" s'ajoutent. Pour mimer les comportements de l'éleveur et sa vision à moyen terme (plusieurs semaines) et limiter les effets dents de scie, un cycle de 8 semaines est appliqué, dans lequel la règle A1 s'applique seule pendant 4 semaines, puis les règles B1 à B13 s'appliquent en supplément de la règle A1 les 4 semaines suivantes. Ce cycle permet de mieux stabiliser la densité du troupeau entre 0,95 et 1. Les règles B1 à B13 prennent en compte des critères de production, de boiteries, et de santé de la mamelle (Figure 9).

Enfin, lorsque la densité dépasse 1,1, une règle dite "C1" s'applique en plus des règles A et B. Il s'agit d'une règle plus sévère prenant en compte uniquement la combinaison des règles de réformes (Combi_Cull). Il s'agit d'un score attribué à chaque vache, variant de 1 à 8, qui prend en compte le score de boiterie, le comptage cellulaire ainsi que le nombre de mammites cliniques que la vache a eu durant sa lactation. Les génisses peuvent également être réformées en cas de mauvaises performances de reproduction. Les détails des règles de réforme sont reportés dans l'annexe 8.

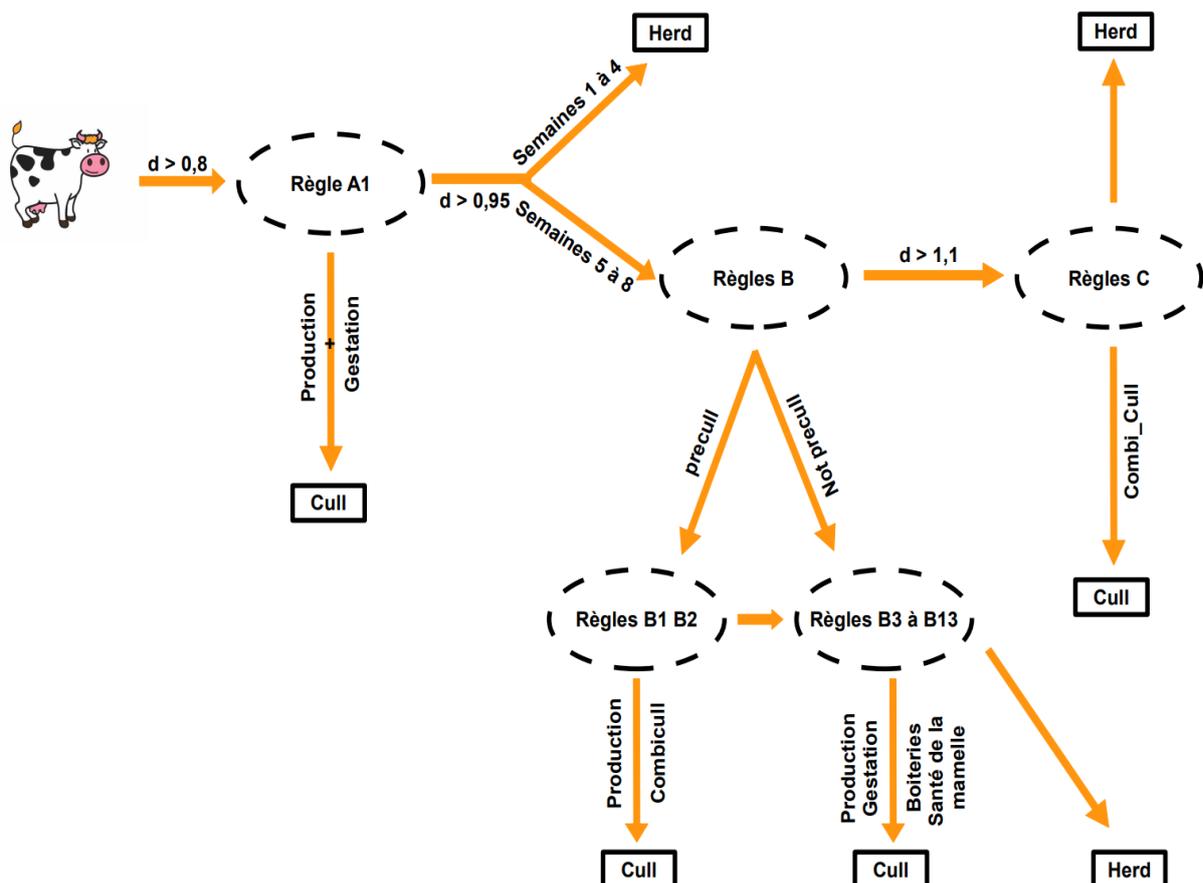


Figure 8 : Arbre de décision des règles A, B et C en fonction de la densité du troupeau

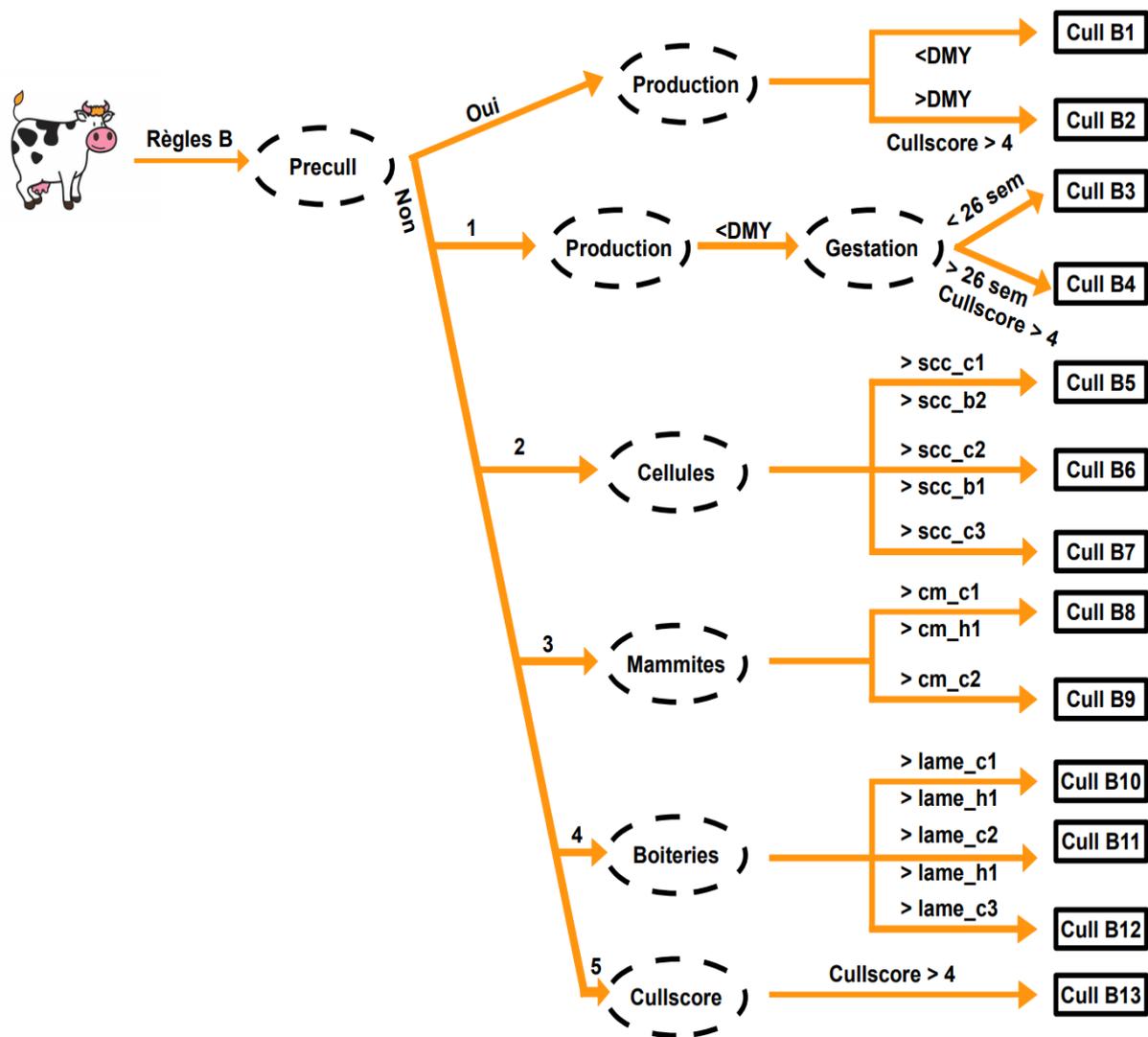


Figure 9 : Arbre de décision des règles de réforme B

II.1.b. Stabilisation du cheptel

Le cheptel stabilisé (*Annexe 9*) a été choisi parmi plusieurs simulations d'une durée de 10 ans. Le cheptel choisi est le cheptel le plus stable possible concernant la dynamique du cheptel, les performances de reproduction, les réformes et les maladies. Le nombre d'insémination a été vérifié de façon à ce que celles-ci soient régulières et stables tout au long des semaines. Au total, 2 688 inséminations ont été réalisées durant la stabilisation avec une moyenne de 5,2 inséminations par semaine (écart-type de 2,6). Le nombre de naissance a été vérifié en regard du nombre d'inséminations réalisées ; 940 naissances sont comptabilisées sur 10 ans avec une moyenne de 1,8 naissances par semaine (écart-type de 1,5). La dynamique du cheptel a également été décisive dans le choix du cheptel stabilisé ; le nombre de génisses et de vaches s'équilibre autour de 100 lors de la fin de la stabilisation. Le nombre de vaches tarées est également stabilisé entre 5 et 20 vaches (avec des pics réguliers) et une moyenne de 8,3 vaches tarées par semaine (écart-type de 4,9). La densité de l'atelier laitier se stabilise également autour de 1 en fin de stabilisation, ce qui montre une bonne occupation de l'atelier laitier. Les sorties de troupeau ont également été vérifiées avec des sorties régulières tout au long des semaines plus ou moins importantes selon la

catégorie des animaux sortis, avec l'absence de pics importants. En ce qui concerne les maladies, la vérification a permis de voir que l'occurrence des différentes maladies était régulière au cours des semaines avec l'absence de pics importants.

II.2. Modélisation économique

Le modèle économique développé est un cadre d'optimisation de la variance moyenne récursive. Il représente de manière dynamique les décisions de l'éleveur concernant l'allocation des intrants tout en maximisant son utilité en tenant compte des contraintes. Les processus décisionnels des éleveurs laitiers (en tenant compte de l'incertitude entrepreneuriale) ont été simulés à l'aide un cadre d'utilité espérée (Von Neumann et Morgenstern, 1947). Ceci implique que les décideurs maximisent l'utilité espérée dans le respect d'un ensemble de contraintes. Ils choisissent entre différentes possibilités risquées tout en prenant en compte leur valeur d'utilité espérée. Ici, les éleveurs sont considérés comme minimisant le risque. Ils ont la volonté de sacrifier une partie de leurs revenus pour éviter de faire face aux risques économiques pour l'élevage. Dans un élevage laitier français typique, la vente de lait représente plus de 80% des revenus et les coûts alimentaires représentent 40 % à 60 % des coûts variables d'un élevage. Le principal risque économique pour un élevage laitier est la volatilité des prix du lait et des aliments pour les animaux (Valvekar et al., 2010). Les risques considérés dans le modèle sont i) un risque de marché concernant la volatilité du prix du lait et de l'aliment (basé sur les prix durant les 10 dernières années) et ii) un risque climatique qui peut affecter la qualité des fourrages produits sur l'élevage (ce qui conduit à acheter plus ou moins de concentrés pour compenser cette perte). Une variance moyenne de Markowitz-Freund a été utilisée pour insérer le comportement d'aversion au risque dans les prises de décisions des éleveurs (Freund, 1956 ; Hardaker et al., 2004 ; Markowitz, 1959). L'utilité espérée du décideur (F) peut être représentée tel que défini dans l'Equation [1] :

$$\max \mathbf{F} = E[Z_{k,t}] - \phi \sigma(Z_{k,t}) \quad [1]$$

Où F est la fonction objective des éleveurs, E dénote les espérances, k représente l'état de nature (défini ici comme le niveau de prix possible), $Z_{k,t}$ est la marge brute équivalente générée par état de nature k dans l'année t, ϕ est le coefficient de l'aversion au risque, et $\sigma(Z_{k,t})$ est l'écart-type du revenu. Selon Anderson et Dillon (1992), le niveau d'aversion au risque des individus peut être représenté par un coefficient relatif d'aversion au risque comme ceci : ce coefficient est inférieur ou égal à 0,5 pour une aversion au risque peu importante à importante et supérieur ou égal à 4 pour les individus ayant une aversion au risque extrêmement importante. Bien que la plupart des auteurs considèrent une valeur autour de 5 à 10 très peu probable (Kocherlakota, 1996). Le coefficient d'aversion au risque a été fixé à 1 et une analyse de sensibilité a été conduite pour les valeurs allant de 0 à 5, ceci représente les différentes attitudes des éleveurs en regard du risque.

La marge brute équivalente $Z_{k,t}$ générées par état de nature k dans l'année t est égale à la différence entre les recettes $R_{k,t}$ et les dépenses $E_{xk,t}$ par état de nature k dans l'année t (Equation [2]) :

$$Z_{k,t} = R_{k,t} - E_{xk,t} \quad [2]$$

Les dépenses sont la somme des dépenses de santé et vétérinaires (par exemple, les médicaments achetés incluant les antibiotiques, les consultations/interventions vétérinaires et chirurgies) ($Ex_Vet_{k,t}$), les changements dans les dépenses alimentaires dus aux changements de stratégies (par exemple l'achat de concentrés), ($Ex_Feed_{k,t}$) et les autres dépenses ($Ex_Oth_{k,t}$), incluant les suppléments de dépenses liés au bâtiment et à l'hygiène de traite, l'insémination et les autres pratiques changées (Equation [3]). Les recettes de l'atelier laitier (Equation [4]) sont la somme des recettes pour chaque produit vendu, à savoir, le lait ($R_Milk_{k,t}$), les veaux d'un mois, les génisses prêtes à vêler (R_Ani_t) et la viande de réforme (R_Cull_t) :

$$Ex_{k,t} = Ex_Vet_{k,t} + Ex_Feed_{k,t} + Ex_Oth_{k,t} \quad [3]$$

$$R_{k,t} = \sum_L R_Milk_{k,t} + \sum_A R_Ani_t + R_Cull_t \quad [4]$$

vendus (par exemple, génisses ou veaux mâles). La quantité de lait hebdomadaire produite et vendue par l'élevage est enregistrée et la moyenne hebdomadaire des cellules et des paramètres biochimiques (matière grasse et protéique) sont pris en compte pour déterminer le prix du lait mensuel payé à l'éleveur selon les critères habituels de rémunérations. La qualité cytologique réfère au nombre de cellules somatiques du lait (SCC) qui est un indicateur de la santé de la mamelle et de l'occurrence de mammite.

II.2.a. Simulation de la problématique d'optimisation sous contraintes de temps de travail et de longévité

Lors de la simulation de la problématique d'optimisation, quatre grandes catégories de contraintes sont utilisées. Premièrement, la contrainte structurelle du bâtiment est prise en compte comme une capacité définie du bâtiment **Capacity_t** et un nombre de places occupées $X_{t,s}$ est simulé pour l'année t et pour la stratégie de gestion s. Cette contrainte est indépendante de la taille du troupeau et peut varier un peu autour de la capacité du bâtiment (voir densité du troupeau ; information 1) :

$$\sum_{t,s} X_{t,s} \leq Capacity_t \quad [5]$$

Deuxièmement, la charge de travail est considérée comme une contrainte de gestion de l'élevage laitier. Etant donné que le flux de travail est difficile à décrire, des changements dans le travail sont considérés ici s'il y a des changements dans les pratiques ou des nouveaux traitements pour une stratégie donnée. Le temps de travail supplémentaire $W_{t,s}$ effectué par l'éleveur dans l'année t pour la stratégie de gestion s est limité à un seuil $W_{Threshold}$ qui correspond au temps de travail supplémentaire que l'éleveur f est capable de supporter, comme indiqué dans l'Equation [6] :

$$\sum_{t,s} W_{t,s} * X_{t,s} \leq W_Threshold_f \quad [6]$$

Troisièmement, le modèle considère que les vaches laitières sont nourries à base d'ensilage de maïs produit sur la ferme et d'aliment concentré provenant de l'extérieur en supplément (par exemple, farine de blé et de soja). La composition du régime

$$\sum_{t,s} AMU_{t,s} * X_{t,s} \leq \left(1 - \frac{Reduction_{AM}}{100}\right) * \sum_{t,s} AMU_{Threshold_{t,s}} \quad [7]$$

alimentaire est basée sur l'ensilage de maïs à 61% plus ou moins 10%. Cette dernière doit également correspondre aux besoins des vaches en énergie et en protéines brutes. Le risque appliqué concernant la quantité et la qualité de l'ensilage de maïs entraîne des changements dans la quantité des concentrés (pour compensation) qui sont des achats. Selon la façon dont les aliments sont inclus dans le modèle, $Z_{k,t}$ doit être appelé la marge brute équivalente au lieu de marge brute. Quatrièmement, les principes d'agro-écologie et de durabilité de la production laitière sont pris en compte avec 3 principaux critères : l'utilisation des antibiotiques (AMU), la longévité des vaches laitières et le bien-être des animaux. Garantir que les conditions optimales ne sont pas obtenues avec AMU max est un point essentiel puisque le modèle peut considérer un haut niveau d'utilisation des antibiotiques pour trouver une solution optimale et cette situation ne correspond pas aux pratiques de terrain. L'équation [7] définit la diminution en pourcentage à l'exposition aux antibiotiques (**Reduction_{AM}**) en comparaison à la référence (**ALEA_Threshold_{t,s}**) appliquée au niveau d'exposition des antibiotiques **ALEA_{t,s}** pour l'année t et la stratégie de gestion s :

II.2.b. Analyse économique des résultats

Le modèle d'optimisation a été exécuté séparément sur les 3 scénarios contextuels (LS1, LS6 et LS12 – *Tableau 1*). Pour chaque niveau de contrainte (ALEA, longévité des vaches et charge de travail), le modèle identifie le scénario optimal ainsi que les indicateurs techniques et sanitaires inhérents.

Tableau 1 : Description des contraintes d'optimisation pour l'acceptation de la charge de travail de l'éleveur, l'objectif de longévité des vaches et d'ALEA

Contrainte de charge de travail		Contrainte de longévité		Contrainte d'ALEA	
Label	Description	Label	Description	Label	Description
GTIME_Free	Pas de contrainte de temps de travail	ADULTAGE_Free	Pas de contrainte de longévité	ALEA_NoRED	Pas de contrainte d'ALEA
GTIME_40	Charge de travail supplémentaire de moins de 40h/mois	ADULTAGE_110w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 110 semaines	ALEA_RED10	Exposition aux antibiotiques réduite de 10%
GTIME_35	Charge de travail supplémentaire de moins de 35h/mois	ADULTAGE_120w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 120 semaines	ALEA_RED20	Exposition aux antibiotiques réduite de 20%
GTIME_30	Charge de travail supplémentaire de moins de 30h/mois	ADULTAGE_130w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 130 semaines	ALEA_RED30	Exposition aux antibiotiques réduite de 30%
GTIME_25	Charge de travail supplémentaire de moins de 25h/mois	ADULTAGE_140w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 140 semaines		
GTIME_20	Charge de travail supplémentaire de moins de 20h/mois	ADULTAGE_150w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 150 semaines		
GTIME_15	Charge de travail supplémentaire de moins de 15h/mois	ADULTAGE_160w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 160 semaines		
GTIME_10	Charge de travail supplémentaire de moins de 10h/mois	ADULTAGE_170w	Age adulte moyen des vaches supérieur à 170 semaines		
GTIME_5	Charge de travail supplémentaire de moins de 5h/mois				

II.3. Calibration du modèle

II.3.a. Elaboration de DHS

Lors de la création du modèle, de nombreuses vérifications et tests ont été réalisés afin de s'assurer de la vraisemblance et de la robustesse du modèle. La calibration adéquate de DHS est en effet un gage de la pertinence et de l'excellence des résultats. Pour cela, des pré-étapes de validation du modèle ont été réalisées, à travers, par exemple, l'application des règles d'apparition des boiteries (et *in fine*, l'incidence observée en sortie de modèle), le respect des temps d'attente pour la collecte du lait ou encore de la production laitière. Au final, ces étapes de validation ont permis d'obtenir un logiciel avec des résultats exacts et reproductibles, tout en proposant des indicateurs de sortie, en adéquation avec leur utilisation en élevage

II.3.b. Calibration des paramètres

Plusieurs tests ont été effectués afin de calibrer le modèle avant de pouvoir s'intéresser aux différentes règles de réformes. En effet, nous avons fait varier plusieurs paramètres, afin d'avoir un cheptel le plus stable possible, à savoir :

- Le nombre d'insémination maximales toléré (nfai), au-delà duquel les vaches sont pré-réformées, dépendant de la production laitière journalière.
- La période d'attente volontaire (vWp), correspondant à une période après le vêlage pendant laquelle la vache n'est pas inséminée, même si elle présente des chaleurs.
- Le nombre maximal de vaches réformées par semaine (Max_Cull_Per_Week).
- Le nombre maximal de lactation par vache (nl).

Ainsi, en optimisant ces paramètres afin de stabiliser le cheptel, les paramètres cités ci-dessus ont été fixés, comme indiqué dans le *tableau 2*, dans les simulations suivantes.

Tableau 2 : Calibration des paramètres

Paramètre	Signification	Valeur
nfai1	Nombre maximal d'IA pour les faibles productrices de lait (<25 L)	4
nfai2	Nombre maximal d'IA pour les hautes productrices de lait (>25 L)	5
vWp	Période d'attente volontaire	8 semaines
Max_Cull_Per_Week	Nombre maximal de vaches réformées par semaine	2
nl	Nombre maximal de lactation par vache	6

II.4. Application à la gestion de réforme en élevage bovin laitier

II.4.a. Description des scénarios de gestion de la réforme

Afin de respecter les causes principales de réforme dans les élevages laitiers, un ensemble de règles a été formulé, basé sur la densité du troupeau, la production laitière, le statut de gestation, la santé de la mamelle et les boiteries.

L'objet de cette étude est de faire varier les critères de réformes à travers ces règles et de permettre une adaptation aux caractéristiques de l'élevage. Modifier les règles de réforme dans le modèle permet la mise en évidence de variations des paramètres biologiques puis économiques de l'atelier bovin laitier. En effet, en étant plus ou moins tolérant sur les critères de réformes, à savoir les mammites, cliniques ou subcliniques, les boiteries, et la production laitière quotidienne, des animaux différents seront réformés. Ainsi les paramètres présentés dans le *tableau 3* ont été modifiés, afin de chercher comment optimiser les résultats de l'élevage, en fonction de ses caractéristiques.

Tableau 3 : Description des scénarios de réforme

Paramètre	Signification du paramètre	Scénario associé	Valeur
DO1	Jours ouverts* primipares	PC0	180 jours
		PC1	240 jours
DO2	Jours ouverts* multipares	PC0	160 jours
		PC1	220 jours
DMY	Production laitière journalière à la réforme	Milk0	12 L
		Milk1	15 L
		Milk2	18 L
scc_b1	Comptage cellulaire du tank	Udder0	200000 cellules
		Udder1	225000 cellules
		Udder2	300000 cellules
scc_b2	Comptage cellulaire du tank	Udder0	300000 cellules
		Udder1	350000 cellules
		Udder2	400000 cellules
cm_c1	Maximum de mammites par vache par lactation lorsque la prévalence des mammites du troupeau est supérieure à cm_h1	Udder0	2
		Udder1	
		Udder2	3
cm_c2	Maximum de mammites par vache par lactation indépendamment de la prévalence dans le troupeau	Udder0	3
		Udder1	4
		Udder2	5
cm_h1	Seuil de prévalence des mammites à partir duquel cm_c1 s'applique	Udder0	0.15
		Udder1	0.25
		Udder2	0.4
lame_h1	Seuil de prévalence des boiteries**	Lame0	0.05
		Lame1	0.15
		Lame2	0.3

* Nombre de jours post vêlage pendant lesquels l'insémination est acceptée

** % de vaches ayant un lame score >3

II.4.b. Description des scénarios d'élevage

Le logiciel de simulation permet de faire varier 3 paramètres inhérents à l'élevage, à savoir l'hygiène (bâtiment, traite), le taux de détection des chaleurs (dépendant du temps passé par l'éleveur à observer ses vaches), et la probabilité d'apparition de boiteries (influencée par le bâtiment, le temps d'attente à la traite...). Ainsi, pour chacun de ses 3 paramètres, 3 scénarios ont été fixés et combinés. (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Description des scénarios d'élevage

Scénario	Nom	Description du scénario
Hygiène	H0	<ul style="list-style-type: none"> Hygiène correcte 1 mammite par vache et par an
	H2	<ul style="list-style-type: none"> Hygiène satisfaisante 2,5 mammites par vache et par an
	H4	<ul style="list-style-type: none"> Hygiène insuffisante 4,5 mammites par vache et par an
Taux de détection des chaleurs	DR55	<ul style="list-style-type: none"> 55% de chaleurs détectées 40 min d'observation par jour
	DR65	<ul style="list-style-type: none"> 65% de chaleurs détectées 2x25 min d'observation par jour
	DR75	<ul style="list-style-type: none"> 75% de chaleurs détectées 2 x 30 min d'observation par jour
Probabilité d'apparition de boiteries	LS1	<ul style="list-style-type: none"> Risque de boiterie de base pour une vache au pré
	LS6	<ul style="list-style-type: none"> Risque de boiterie de base x 6
	LS12	<ul style="list-style-type: none"> Risque de boiterie de base x 12

II.4.c. Simulations

Au total, 1 458 scénarios ont été simulés sur une durée de 14 ans pour chacun d'eux et les résultats ont été analysés sur les 10 dernières années des simulations. En effet, les 4 premières années de chaque scénario ne sont pas prises en compte dans les analyses car ce sont des années de transition. Les simulations sont sous forme de baking ; un baking est la moyenne de 30 simulations d'une durée de 14 ans. Ainsi, pour chacun des 1458 scénarios, les données apparaissent sous la forme de 14 moyennes des 30 simulations. Afin d'analyser les résultats, les données obtenues ont été réorganisées. Pour faciliter l'analyse des résultats biologiques, les différents scénarios ont été classés de manière à faciliter la lisibilité des résultats (*Figure 10*).

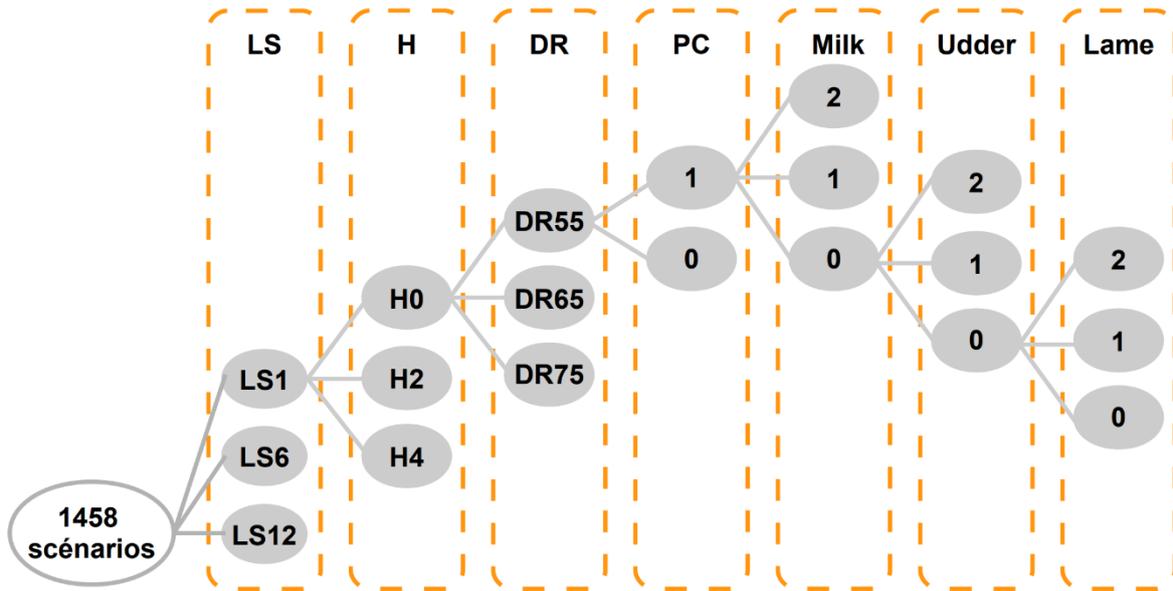


Figure 10 : Classification des scénarios pour l'analyse des résultats biologiques

III. Résultats

III.1. Résultats biologiques

III.1.a. Causes de réformes

III.1.a.1. Importance relative des différentes causes de réformes

Dans les scénarios simulés, la cause de réforme principale est la production laitière. En effet, le nombre de réformes pour cette cause varie de 47% à 100% alors que le nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle varie de 0% à 53%. Enfin le nombre de réformes pour cause de boiteries varie quant à lui de 0% à 44% (*Figures 11 et 12*).

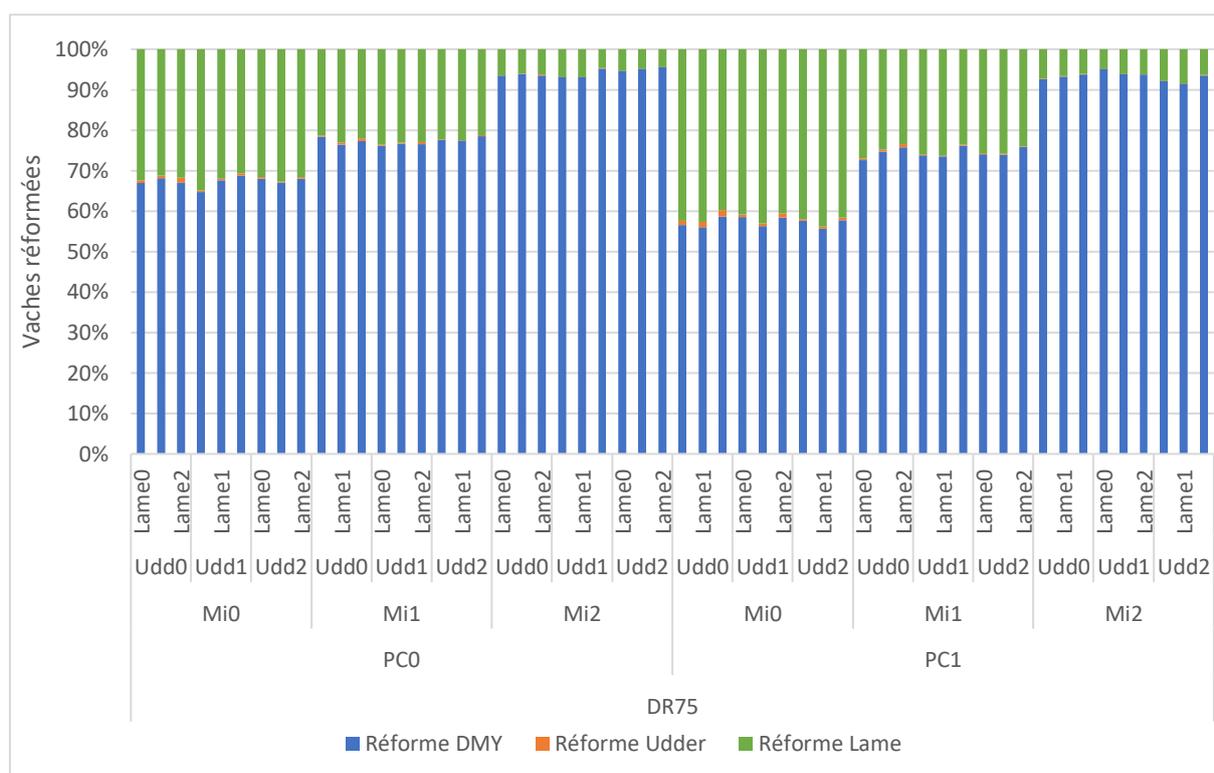


Figure 11 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS12_H0_DR75

Lorsque la prévalence des boiteries augmente, la quantité de réformes liées aux boiteries augmente aussi. En effet, moins de 1% des vaches réformées le sont pour cause de boiteries dans les scénarios de boiteries LS1, 8% le sont dans les scénarios LS6 et 12% dans les scénarios LS12 (Figure 14).

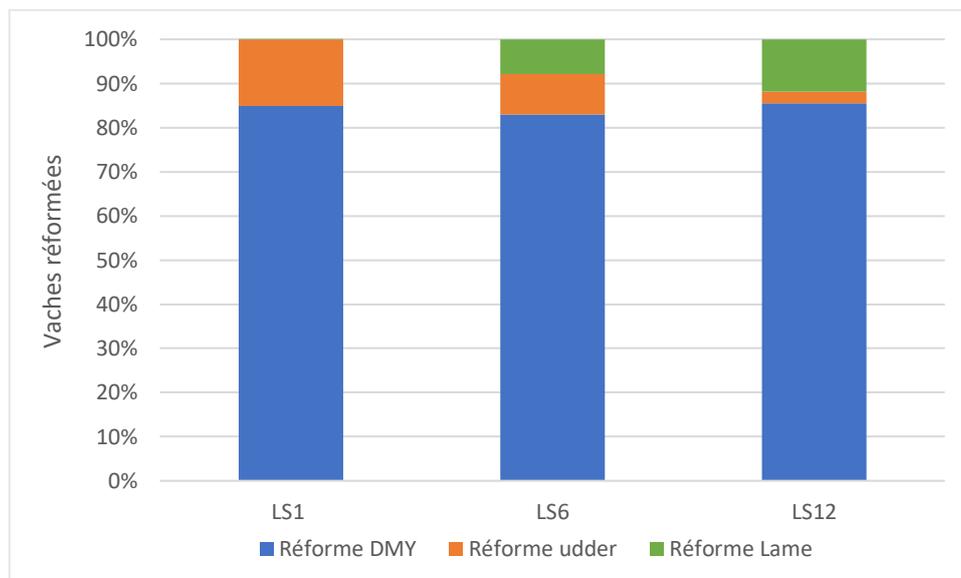


Figure 14 : Répartition des causes de réformes en fonction des scénarios de boiterie

III.1.a.3. Diversité des causes de réforme

La diversité au sein des causes de réformes est inversement proportionnelle au nombre de réformes pour cause de faible production laitière. En effet, le nombre de vaches réformées pour cause de mauvaise santé de la mamelle ou de boiteries est d'autant plus faible que le nombre de vaches faibles productrices réformées est élevé (Figure 15).

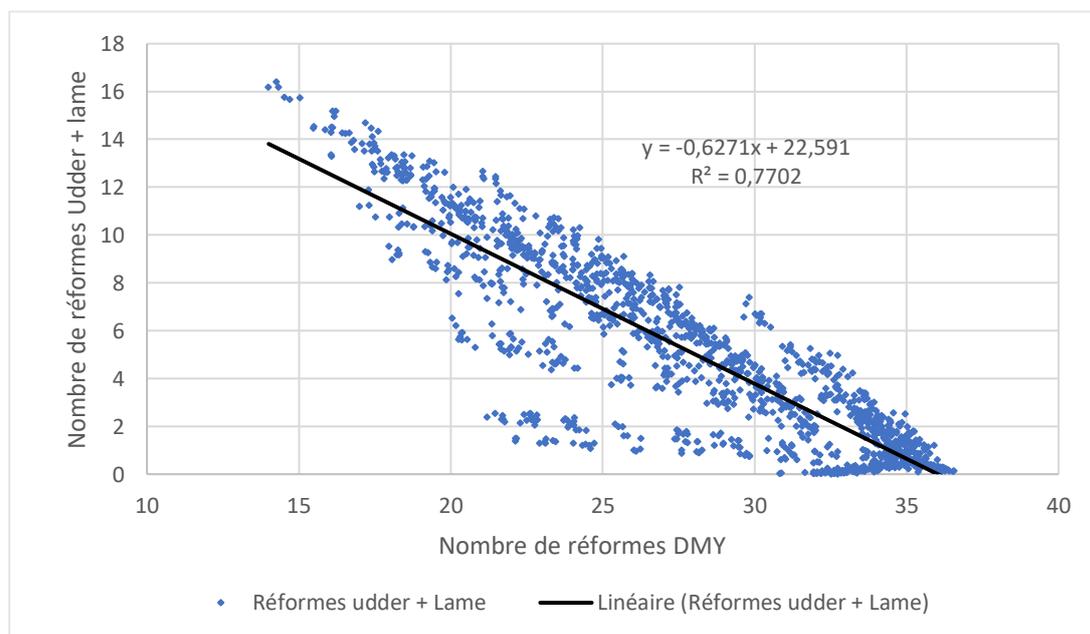


Figure 15 : Nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle et boiterie en fonction du nombre de réformes pour la production laitière

Aucun scénario ne présente simultanément un nombre élevé de réformes pour cause de boiteries et de mauvaise santé de la mamelle. En effet, lorsque plus de 8 vaches sont réformées pour l'une de ces deux causes, moins de 2 vaches le sont pour l'autre (Figure 16).

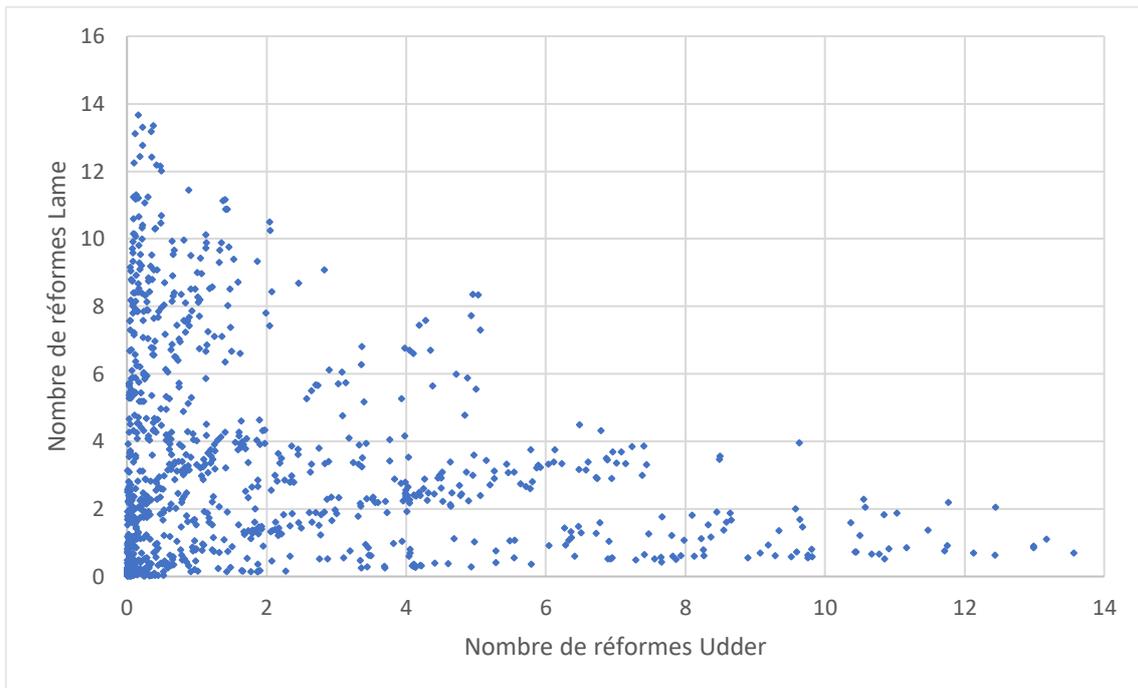


Figure 16 : Nombre de réformes pour boiterie en fonction du nombre de réforme pour mauvaise santé de la mamelle

III.1.b. Caractéristiques des vaches réformées

III.1.b.1. Généralités

Quel que soit le scénario, les réformes concernent majoritairement des vaches multipares. En effet, elles représentent 69 à 86% des vaches réformées.

Les vaches qui sont réformées le sont en majorité en fin de lactation. En effet, 68 à 96% des vaches sont réformées après plus de 30 semaines en lait.

III.1.b.2. Réforme des primipares

Le nombre de primipares réformées est plus élevé lorsque les critères de réforme vis-à-vis de la production laitière sont plus stricts. En effet, il passe de 6 vaches lorsque le seuil de production minimale est de 12 L à 10 vaches lorsqu'il est de 18 L (*Figure 17*).

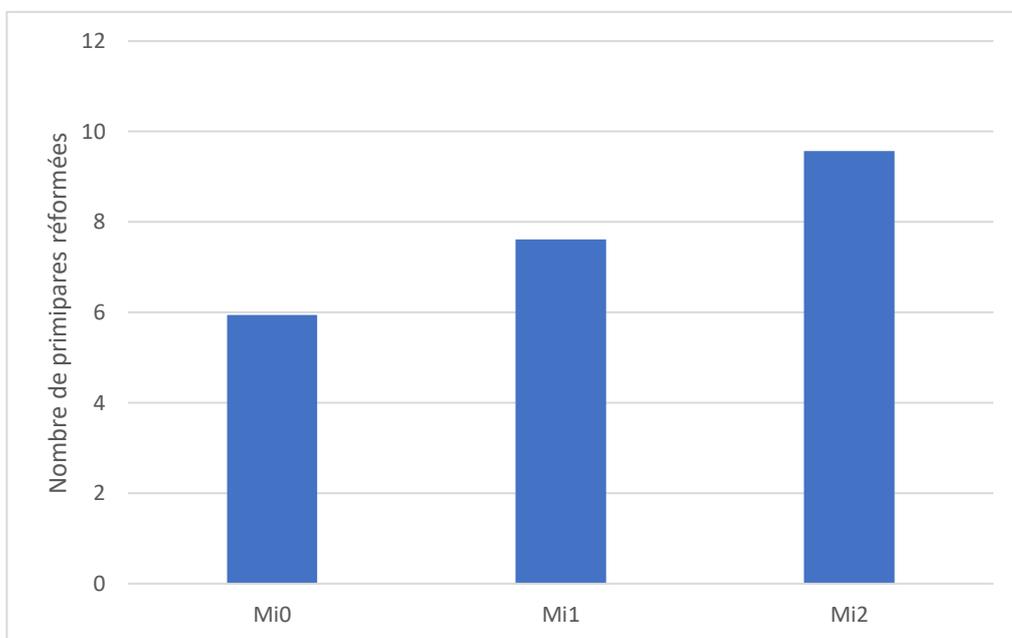


Figure 17 : Nombre de primipares réformées en fonction des scénarios de réforme de production laitière

Le nombre de primipares réformées est d'autant plus faible que le nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle ou de boiteries est élevé (*Figure 18*).

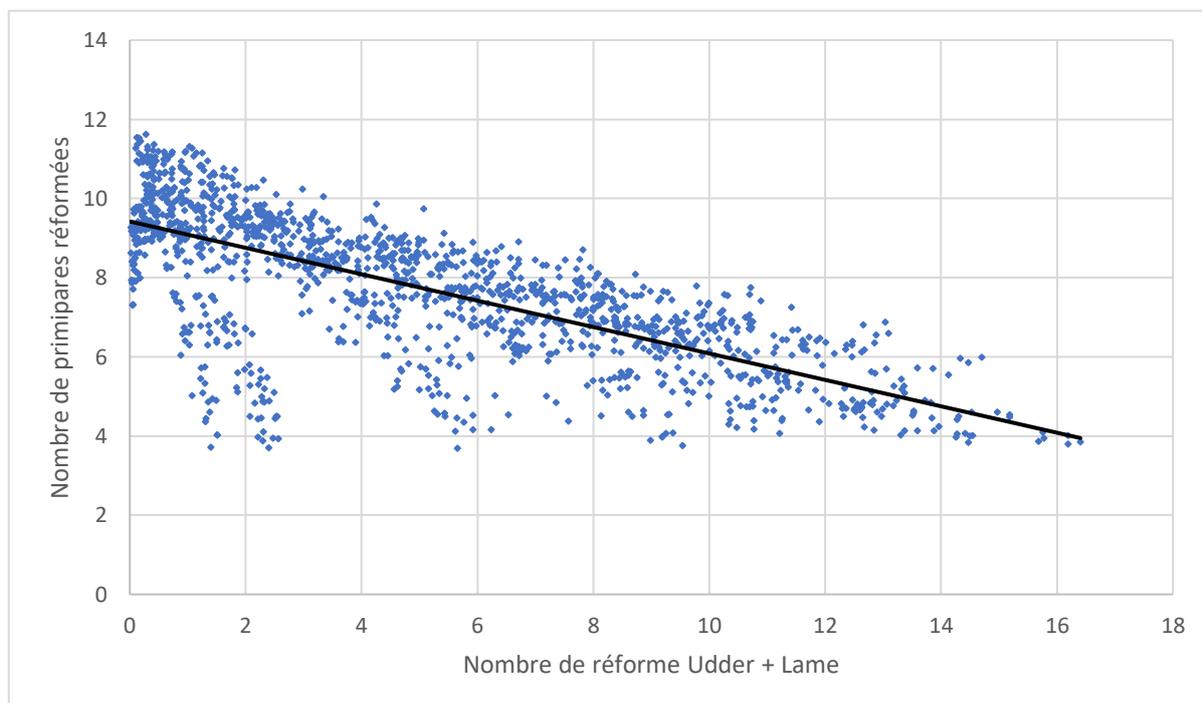


Figure 18 : Nombre de primipares réformées en fonction du nombre de réforme pour mauvaise santé de la mamelle et pour boiterie

III.1.b.3. Réforme selon le stade de lactation

Le nombre de vaches réformées à des stades précoces de lactation est proportionnel au nombre de vaches réformées pour des causes de mauvaise santé de la mamelle et de boiteries (*Figure 19*).

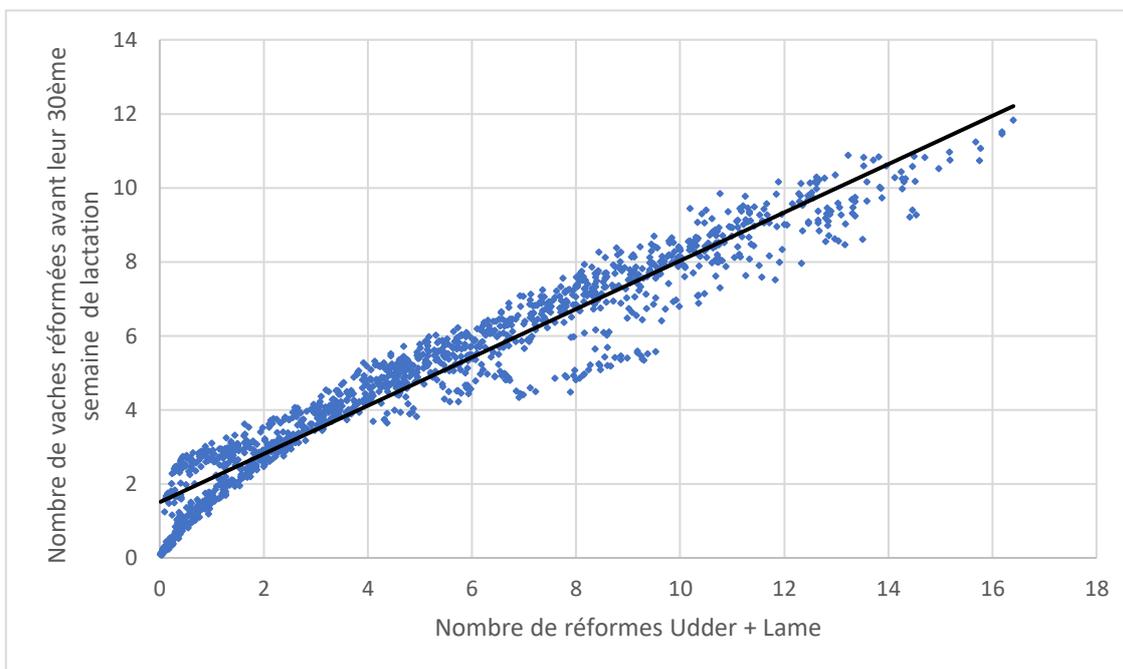


Figure 19 : Nombre de vaches réformées avant leur 30ème semaine de lactation en fonction du nombre de réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle et pour boiterie

III.1.c. Variation de la production laitière et de la taille du cheptel

III.1.c.1. Production laitière

La quantité totale de lait produit varie en fonction des scénarios de 700 000 L à 1 000 000 L. Elle est plus faible lorsque la taille du cheptel est réduite. La qualité du lait est dégradée uniquement pour les scénarios H4 (*Figure 20*).

La quantité de lait produit par vache varie en fonction des différents seuils de sévérité vis-à-vis de la production laitière dans la gestion des réformes. En effet la production par vache est de moins de 9 400 L lorsque le seuil de production minimale est de 12L (Mi0), 9 550 L quand il est de 15L (Mi1) et de plus de 9 700 L pour un seuil de 18L (Mi2) (*Figure 21*).

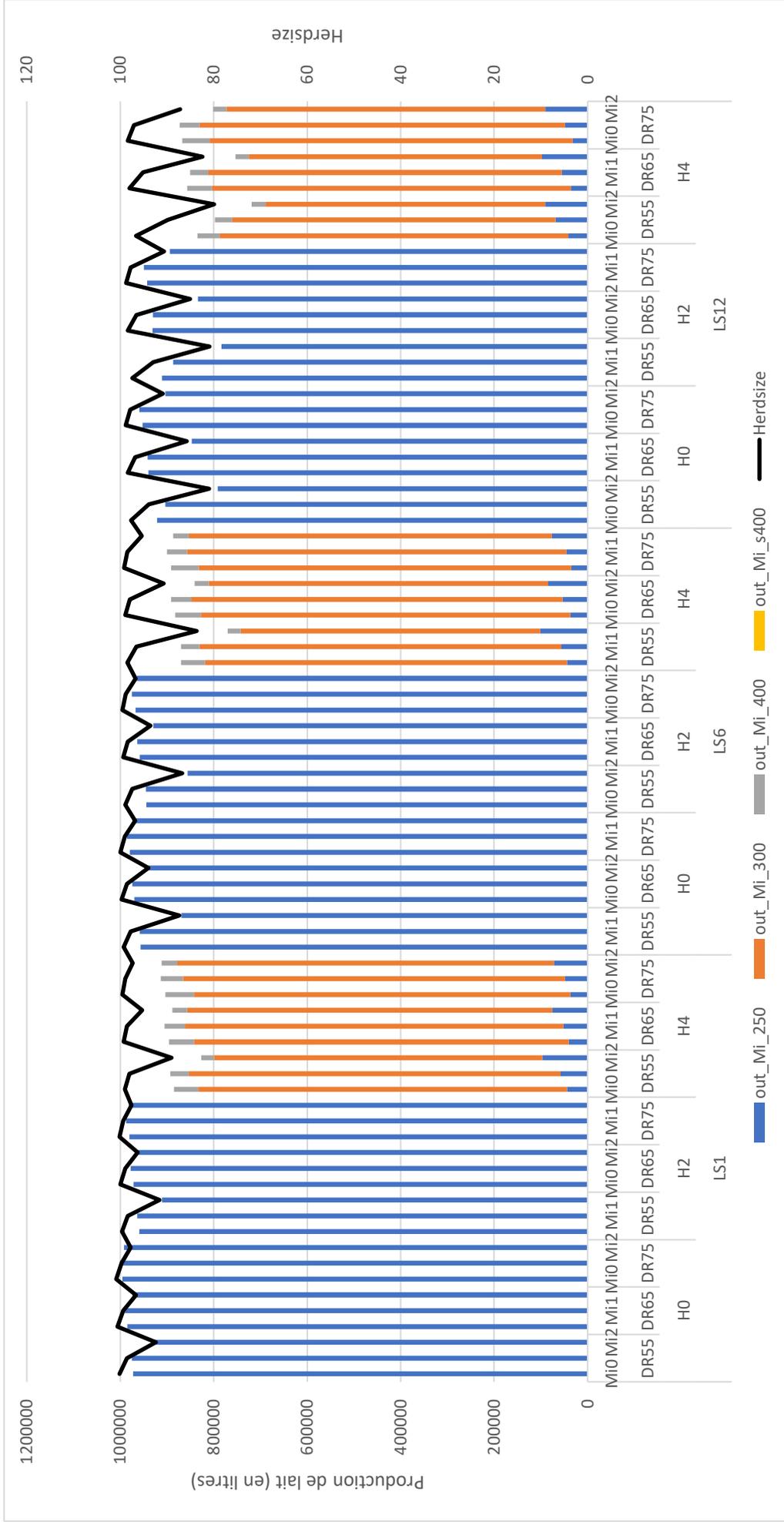


Figure 20: Quantité et qualité du lait produit en fonction des scénarios en regard de la taille du cheptel

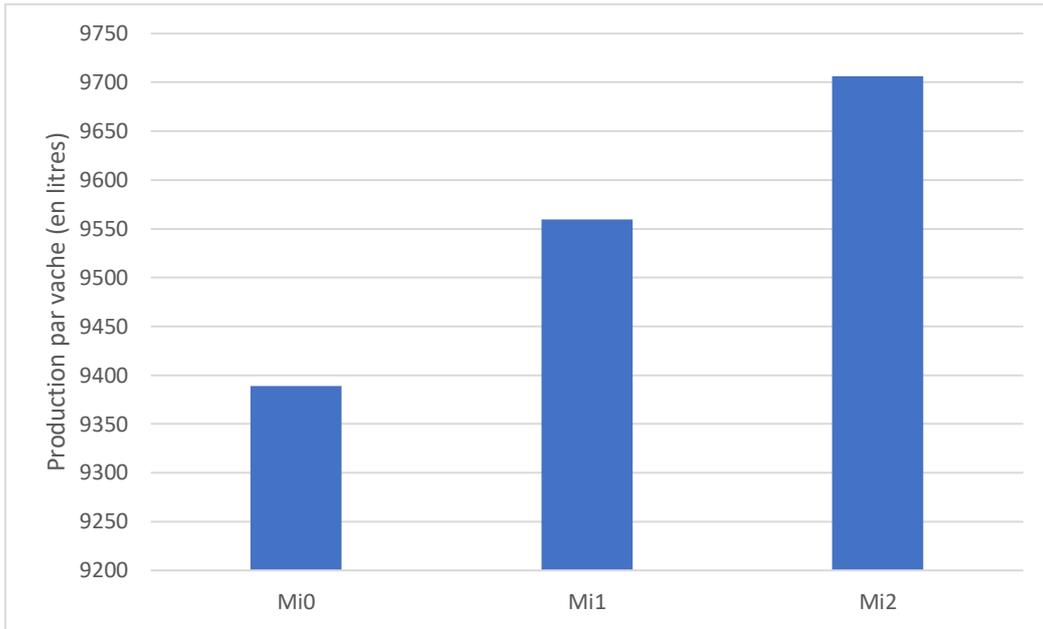


Figure 21 : Production laitière par vache en fonction des scénarios de réforme de production laitière

III.1.c.2. Taille du cheptel

La taille moyenne du cheptel varie selon les scénarios entre 80 et 101 vaches. La quantité totale de lait produit est plus faible dans les scénarios où le nombre de vaches est plus faible (Figure 22).

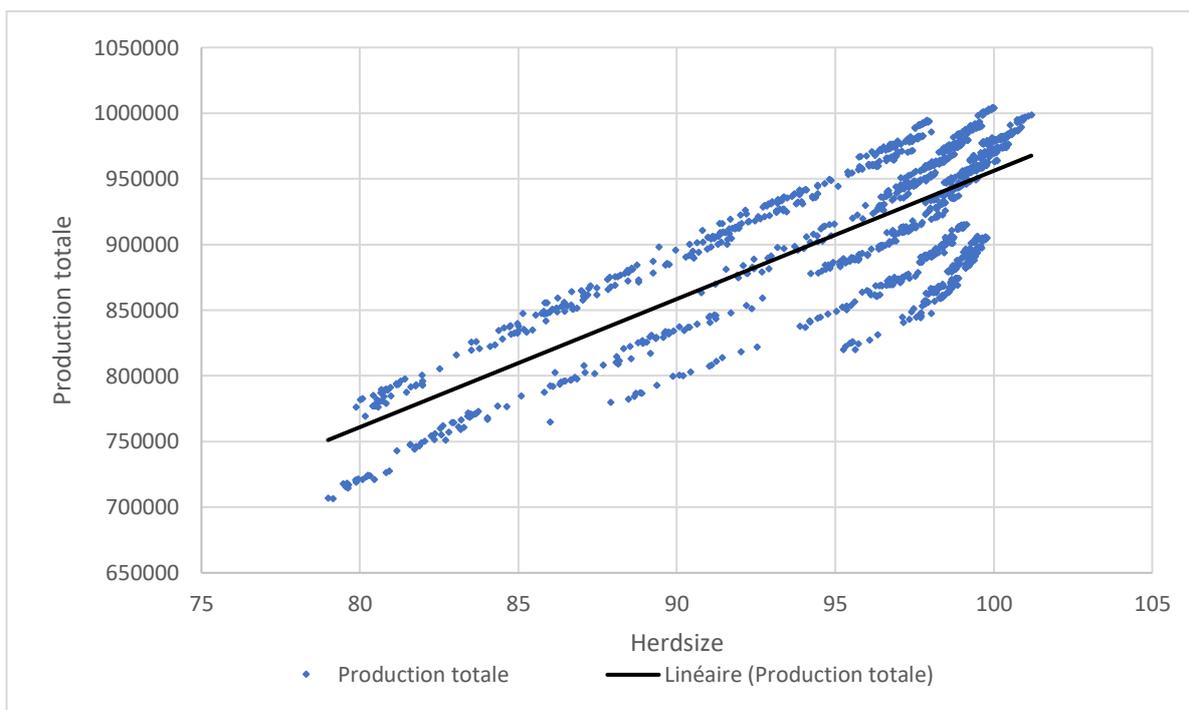


Figure 22 : Production laitière totale en fonction de la taille du cheptel

Le taux de réforme du cheptel varie de 23% à 38%. Ce taux n'a pas d'impact sur la taille du cheptel jusqu'à un seuil de 30%, au-delà, le cheptel est d'autant plus petit que le taux de réforme est élevé (Figure 23).

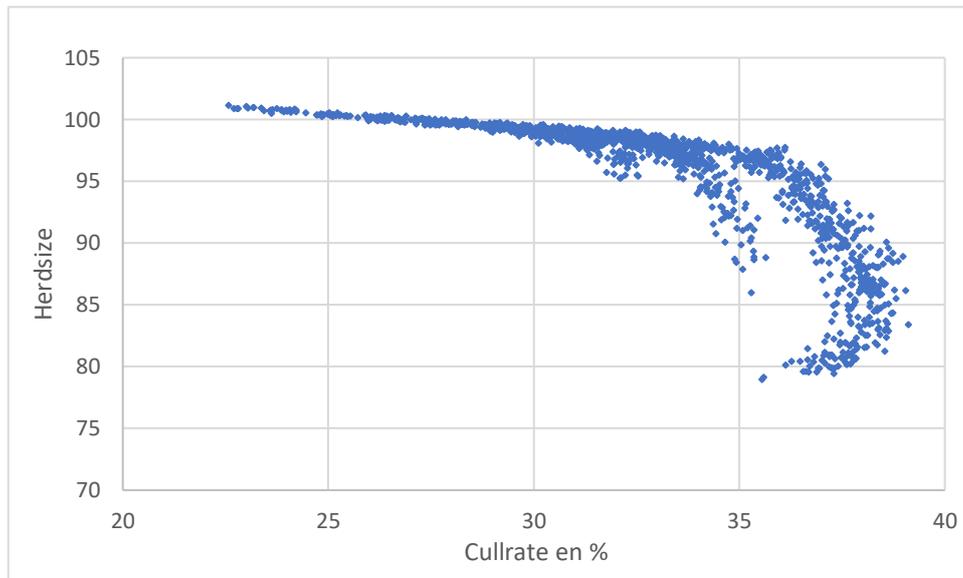


Figure 23 : Taille du cheptel en fonction du Taux de réforme

Les scénarios dans lesquels la production laitière est faible (< 800 000 L) correspondent à des scénarios avec un taux de réforme élevé (> 35%). Au contraire les scénarios dans lesquels le taux de réforme est faible (< 28%) sont associés à des productions laitières totales supérieures à 950 000 L (Figure 24). Cela est lié à la taille du cheptel qui est plus faible lorsque le taux de réforme est élevé, en lien avec l'hypothèse de l'absence d'achats.

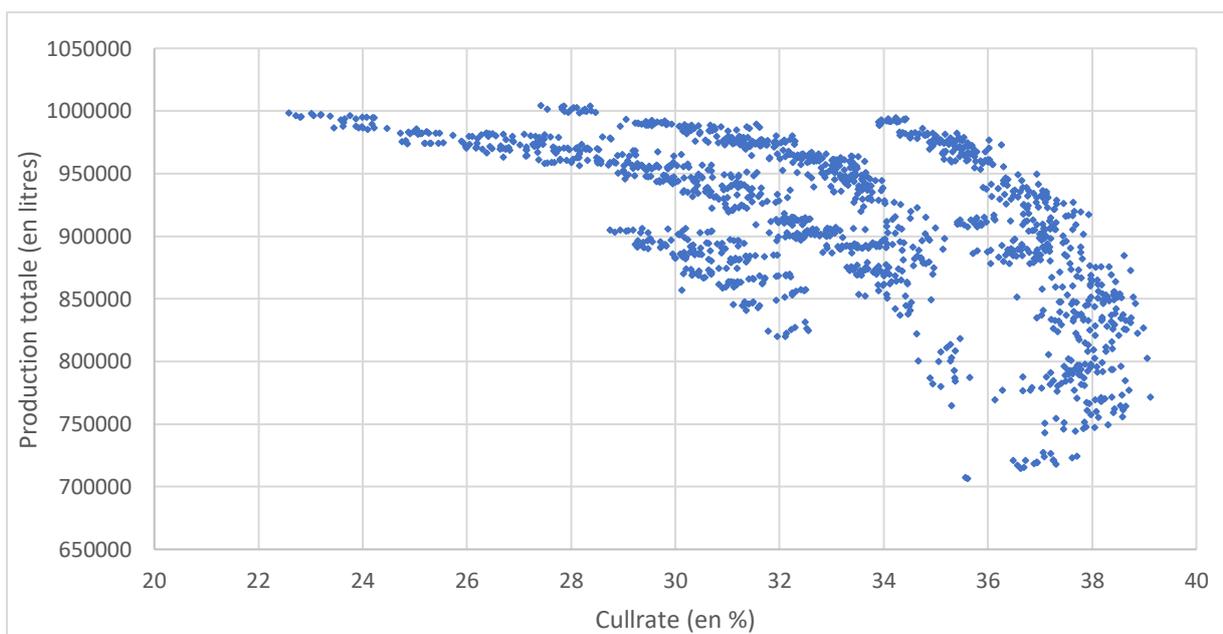


Figure 24 : Production laitière totale en fonction du Taux de réforme

III.1.d. Vente de génisses de renouvellement

La vente de génisses prêtes à vêler varie proportionnellement au taux de réforme. En effet, un taux de réforme faible implique un besoin en génisses de renouvellement moindre. Ainsi, le nombre de génisses prêtes à vêler vendues est plus élevé (*Figure 25*).

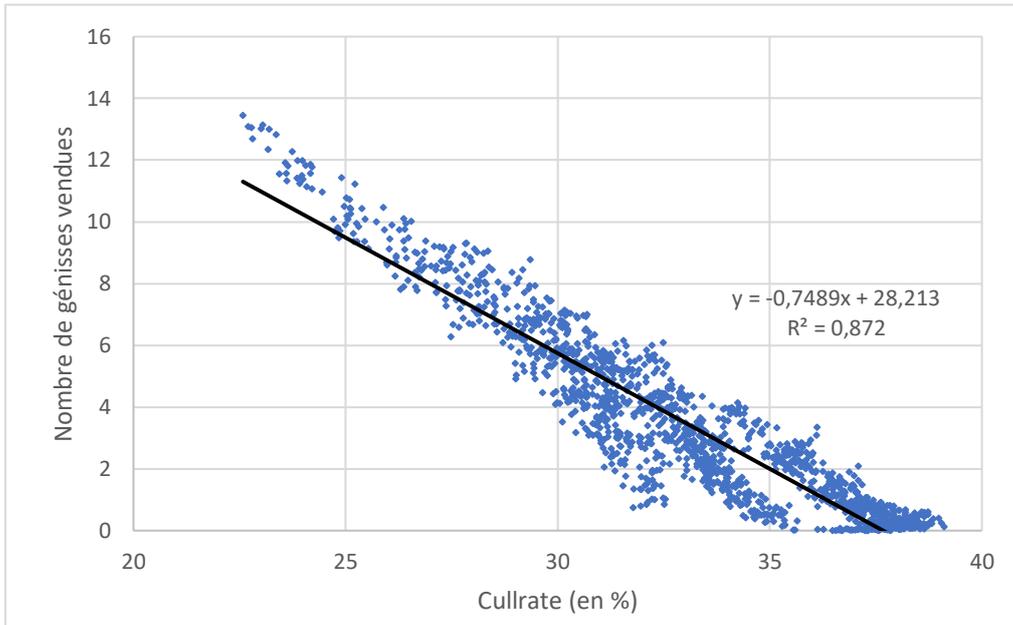


Figure 25 : Nombre de génisses vendues en fonction du Cullrate

III.1.e. Nombre moyen de semaines de vie productives

Le nombre moyen de semaines de vie productives du troupeau varie de 114 à 185 semaines dans les différents scénarios. Cet indicateur est un proxy de la longévité des vaches. Celui-ci est fortement corrélé au taux de réforme. En effet, il est d'autant plus élevé que le taux de réforme est faible (*Figure 26*).

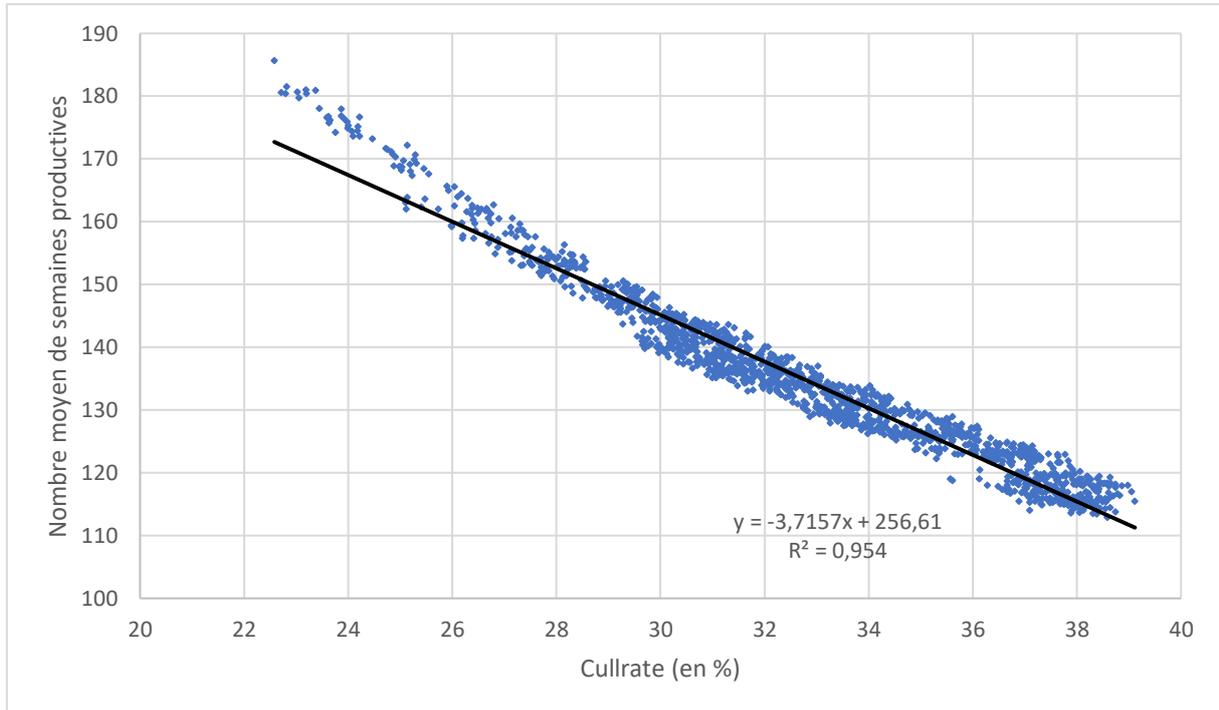


Figure 26 : Nombre moyen de semaines de vie productives du troupeau en fonction du Cullrate

Ainsi, le taux de réforme étant plus élevé dans les scénarios stricts vis-à-vis de la production laitière, le nombre moyen de semaines productives du troupeau est plus faible dans ces scénarios. En effet, lorsque l'on réforme les vaches dont la production est en dessous de 12 L (Mi0), l'âge moyen est de 147 semaines, alors qu'il est de 121 semaines lorsque l'on réforme des vaches dont la production est en dessous de 18 L (Mi2) (*Figure 27*).

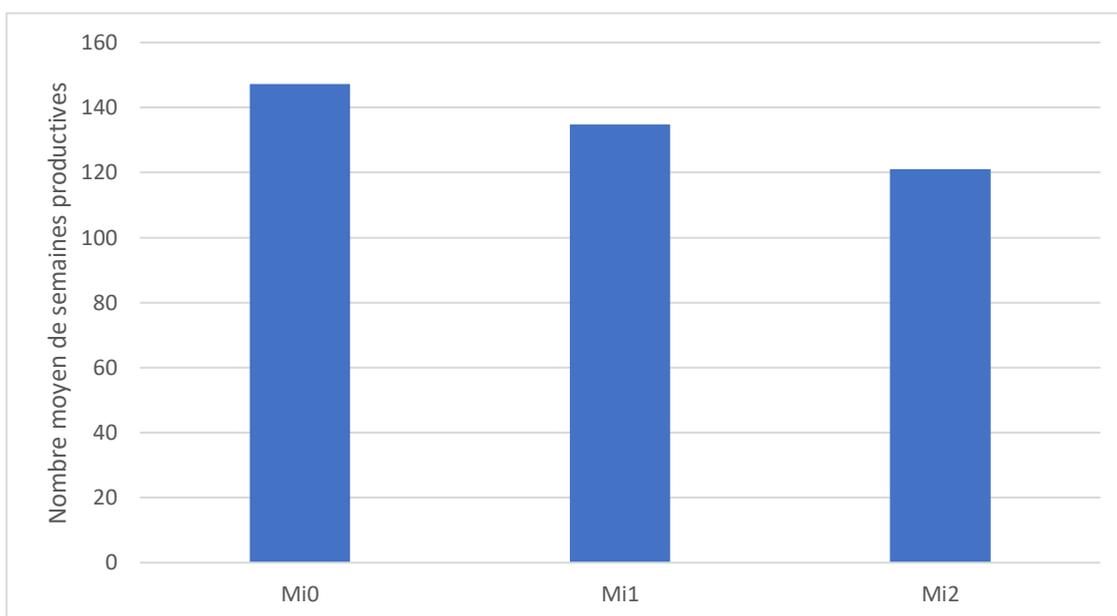


Figure 27 : Nombre moyen de semaines productives du troupeau en fonction des scénarios de réforme de production laitière

III.1.f. IVV

L'intervalle vêlage-vêlage (IVV) varie de 392 à 421 jours dans l'ensemble des scénarios. Celui-ci est plus faible dans les scénarios où les critères de production et de pré-réforme sont plus stricts. En effet, il est de 411 jours lorsque les vaches produisant moins de 12 L de lait sont réformées et que les critères de pré-réforme sont souples (PC1) et de 400 jours lorsque ce sont celles produisant moins de 18 L par jour qui sont réformées avec des critères de pré-réforme stricts (Figure 28).

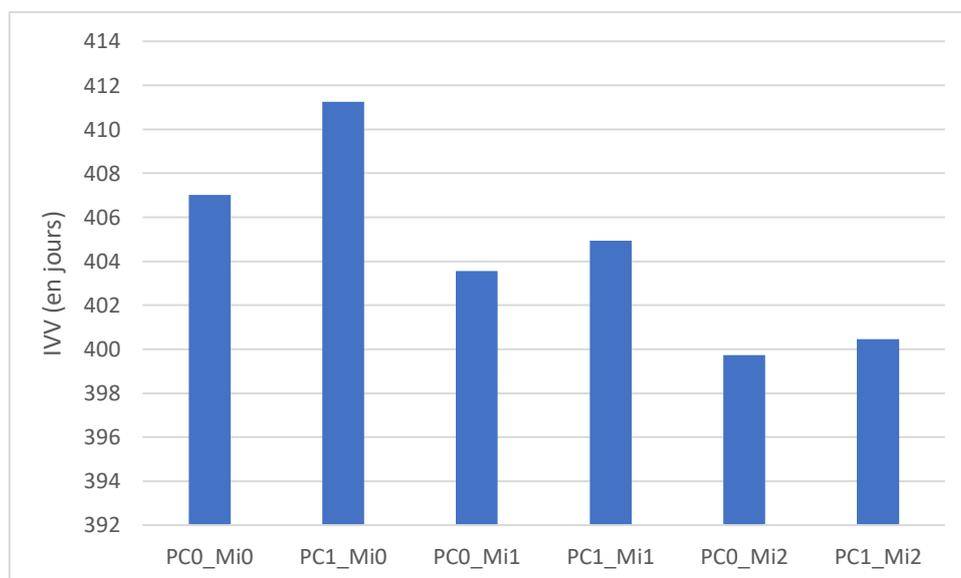


Figure 28 : IVV en fonction des scénarios de pré-réforme et de réforme de production laitière

III.2. Analyse économique

III.2.a. Scénarios optimaux en fonction des contraintes

III.2.a.1. Contrainte de longévité

Les résultats de l'analyse économique des différents scénarios sont sensibles à la contrainte de longévité (*Tableau 5*). Afin d'améliorer la longévité du troupeau l'analyse économique suggère d'assouplir les règles de réforme concernant la production laitière. En effet, lorsque la contrainte de longévité est élevée (>160 semaines), le modèle économique suggère d'appliquer un seuil de production laitière minimale faible de 12 L (Mi0) pour réformer, alors que lorsque la contrainte de longévité est faible (<140 semaines) le modèle suggère d'appliquer un seuil plus sévère (18 L ; Mi2). De plus, le modèle propose également d'appliquer des règles de réformes vis-à-vis de la santé de la mamelle et des boiteries plus souples (Udd2_Lame2) pour le niveau de contrainte maximal sur la longévité des vaches du troupeau.

Tableau 5 : Scénarios optimaux pour les différentes contraintes de longévité

Contrainte longévité	Nom du scénario
ADULTAGE_Free	LS1_H2_DR75_PC1_Mi2_Udd0_Lame2
ADULTAGE_110w	
ADULTAGE_120w	
ADULTAGE_130w	
ADULTAGE_140w	LS1_H2_DR75_PC1_Mi1_Udd1_Lame1
ADULTAGE_150w	LS1_H0_DR75_PC1_Mi1_Udd2_Lame0
ADULTAGE_160w	LS1_H2_DR75_PC1_Mi0_Udd1_Lame0
ADULTAGE_170w	LS1_H2_DR75_PC1_Mi0_Udd2_Lame2

III.2.a.2. Contraintes de charge de travail et d'exposition aux antibiotiques

Lorsque l'objectif de l'éleveur est de réduire l'exposition aux antibiotiques de son troupeau, il apparaît que la stratégie à adopter est d'améliorer l'hygiène de l'élevage (*Tableau 6*). Cependant, lorsque l'éleveur est fortement contraint sur son temps de travail (inférieures à 20h par mois), aucun scénario ne permet d'atteindre l'objectif de diminution de l'exposition aux antibiotiques (*Tableau 6*).

Tableau 6 : Scénarios optimaux pour les combinaisons de contraintes d'ALEA et de charge de travail

	ALEA_NoRED	ALEA_RED10	ALEA_RED20	ALEA_RED30
GTIME_noConstraint				
GTIME_40		LS1_H0_DR75_PC0_Mi2_Udd1_Lame2		
GTIME_35		LS1_H0_DR65_PC0_Mi2_Udd0_Lame0		
GTIME_30		LS6_H0_DR55_PC1_Mi2_Udd1_Lame1		
GTIME_25	LS1_H2_DR75_PC1_Mi2_Udd0_Lame2	LS12_H2_DR65_PC1_Mi2_Udd0_Lame1	LS1_H2_DR75_PC1_Mi2_Udd0_Lame2	LS12_H2_DR65_PC1_Mi2_Udd0_Lame1
GTIME_20				
GTIME_15				
GTIME_10				
GTIME_5				

III.2.b. Analyse des revenus

L'analyse de la marge brute annuelle moyenne semble principalement dépendre des scénarios d'hygiène et des scénarios de réforme concernant la production laitière (*Figure 29*). En effet, les critères de réforme concernant la santé de la mamelle et les boiteries ne semblent pas influencer les revenus de l'éleveur, dans le contexte de cette étude. D'une part, la marge brute est plus faible dans les scénarios où l'hygiène est très dégradée (H4) que dans les scénarios où l'hygiène est correcte (H0 et H2). En effet, elle est de 263 922 € pour les scénarios H2_Mi1 alors qu'elle est de 235 175 € pour les scénarios H4_Mi1. D'autre part, la marge brute dépend du seuil de production laitière minimale de réforme. En effet, elle est maximale pour des scénarios intermédiaires Mi1, légèrement inférieure pour les scénarios les plus souples Mi0 et largement inférieure pour des scénarios sévère Mi2.

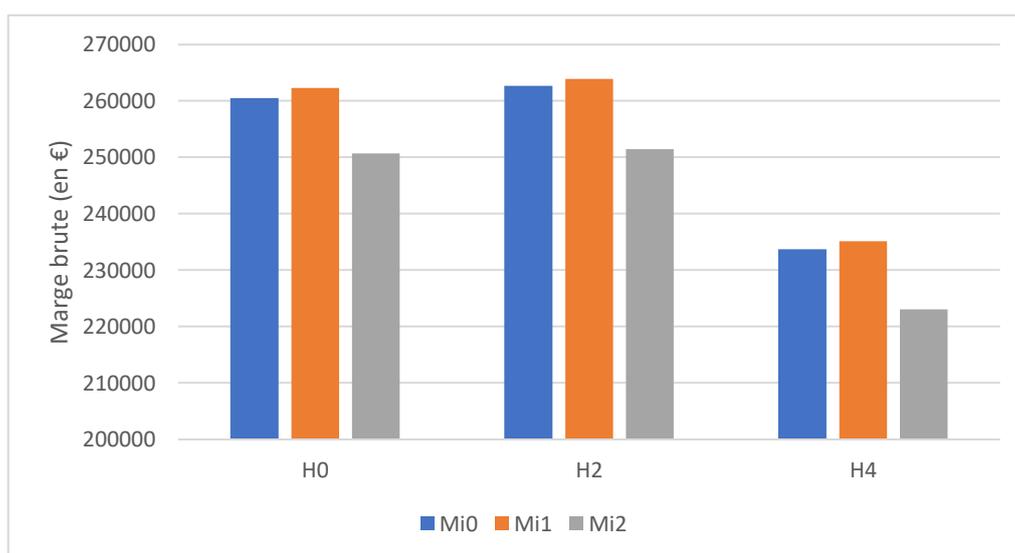


Figure 29 : Marge brute annuelle moyenne (en €) en fonction des scénarios d'hygiène et de réforme concernant la production laitière

III.2.c. Gain marginal de l'allongement de la longévité selon les critères de réforme pour la production laitière

La gestion des réformes à travers le profil des animaux réformés et la diversité des causes de réformes est un point clé impactant les revenus des éleveurs laitiers. Ainsi, la longévité et la réforme concernant la production laitière sont deux leviers de l'optimisation économique de l'élevage. En effet, le gain marginal moyen par semaine de présence dans le troupeau supplémentaire est de 2 196 € lorsque l'éleveur choisit de réformer les vaches produisant moins de 12 L de lait par jour, c'est-à-dire que ses revenus augmentent de 2 196 € pour chaque augmentation d'une semaine du temps de présence moyen des vaches dans le troupeau. Cette augmentation est de 4 784 € lorsqu'il choisit de réformer les vaches produisant moins de 15 L et de 4 555 € lorsque ce sont les vaches produisant moins de 18 L qui sont réformées (*Figure 30*).

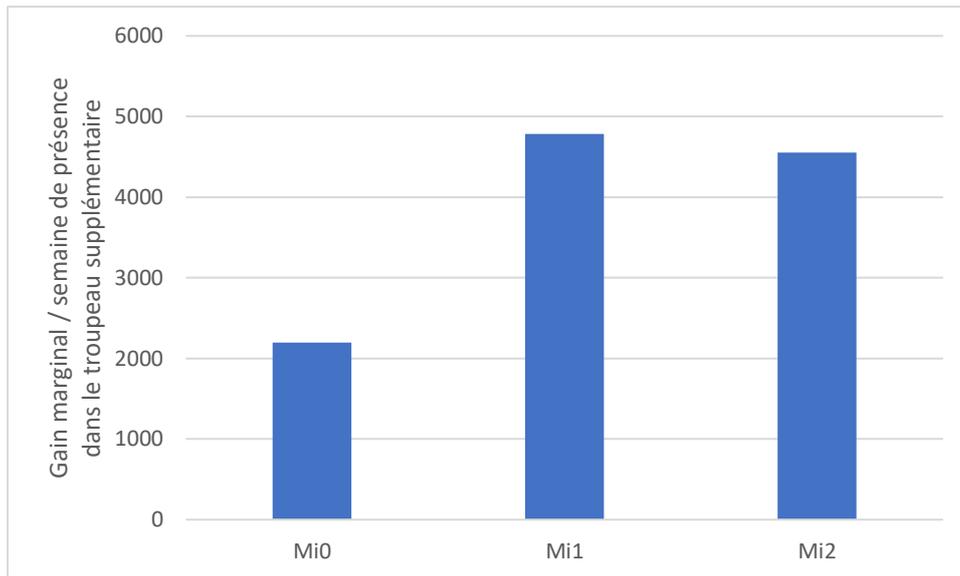


Figure 30 : Gain marginal de marge brute par semaine de présence dans le troupeau supplémentaire (en €) en fonction des scénarios de réforme concernant la production laitière

IV. Discussion

IV.1. Intérêt et limites de l'outil de simulation utilisé

La présente étude combine une modélisation innovante de simulation biologique et une optimisation économique multicritère, comme le fournit l'outil DHS®. Cette combinaison originale permet d'améliorer les standards méthodologiques en économie appliquée à la santé animale, à deux niveaux (Ferchiou et al., 2021). Tout d'abord, la partie biologique a été développée de manière à limiter les biais dus à une partie expliquée du modèle (boîte noire), comme on le voit souvent dans la modélisation dynamique des troupeaux laitiers (Bruijnis et al., 2010 ; Gussmann et al., 2018). Dans notre modèle, seule la mortalité accidentelle est restée inexplicite, tous les autres événements étant expliqués même s'ils sortent du cadre de l'analyse. Par exemple, la taille du troupeau peut changer en fonction des règles de réformes qui varient en fonction du taux d'occupation du bâtiment d'élevage. Cela place la gestion stratégique des exploitations agricoles au cœur du modèle. Cette approche systémique et holistique des troupeaux laitiers permet une meilleure prise en compte des interactions pathologiques et limite les a priori pouvant conduire à une estimation biaisée de la production. Le modèle d'optimisation économique couplé à la partie biologique est nouveau. À l'exception de quelques études récentes (Inchaisri et al., 2011 ; Ma et al., 2020), l'économie appliquée à la gestion de la santé des élevages laitiers se limite à l'estimation monétaire de l'impact épidémiologique, loin du fonctionnement réaliste d'un élevage et du comportement de l'éleveur. Dans une étude précédente (Groenendaal et Al., 2004), les résultats mettent en évidence l'existence d'un moment économiquement optimal pour réformer une vache. En effet, réformer une vache trop tôt s'accompagne d'une diminution des bénéfices alors que la réformer trop tard augmente les dépenses. L'approche du modèle DHS® n'offre pas une vision individuelle de la gestion des réformes mais une approche globale à l'échelle du troupeau.

Le modèle proposé et son application à la question de la réforme en élevage ont été validés en termes de vraisemblance des résultats et des scénarii testés. En effet, il apparaît clairement que les causes de réformes observées en sortie de modèle répondent de manière sensible aux scénarios évalués (Figure 15 par exemple). Les résultats des paramètres biologiques (première partie des résultats) ont aussi démontré la validation du modèle et sa capacité de réponse aux changements de calibration et tests de comportement.

Le modèle reste toutefois très sensible au nombre de vaches en production, qui influence les revenus de manière important : entre 90 et 100 vaches, la production de lait permise par le troupeau varie en lien avec les scénarios et de manière relativement indépendante du nombre de vaches alors qu'en dessous d'un seuil d'environ 90 vaches, les revenus sont très dépendants de la production laitière totale qui dépend de ce faible nombre de vaches. Dans cette dernière situation, l'interprétation des résultats doit être précautionneuse. Toutefois, compte tenu du modèle d'optimisation utilisé, les scénarios correspondant aux faibles densités en élevage (faible nombre de vaches) ne sont pas retenus comme situation optimales.

Cette difficulté liée à la taille du troupeau est aussi à relier au taux de réforme, avec une instabilité de la taille du troupeau lors de réforme élevée (*Figure 23*). Le décrochage observé à 35% de taux de réforme nécessite de plus fortes investigations, car ce décrochage était attendu autour de 40 %. Ces investigations devront porter sur les différentes modalités de calcul de cet indicateur (nombre de vache moyenne, nombre de vache-année), et être confrontées à certains choix du modèle relatifs à l'achat d'animaux et à la vente de génisses.

En effet, dans les scénarios les plus dégradés en termes d'hygiène et de prévalence de boiteries, la taille du cheptel diminue fortement car le nombre de génisses de renouvellement n'est pas suffisant pour remplacer l'ensemble des vaches réformées. Le modèle ne permettant pas les achats d'animaux, la gestion du troupeau n'est alors pas en adéquation avec les pratiques actuelles qui tendent vers une occupation de l'atelier laitier optimale (supérieure à 95%). Il serait donc intéressant d'intégrer dans le modèle la possibilité pour l'éleveur d'acheter des animaux afin de maintenir une occupation satisfaisante de l'atelier laitier.

De plus, afin d'éviter une diminution de la taille du cheptel trop importante, il serait pertinent d'instaurer un seuil de taux de réforme au-delà duquel la vente de génisses prêtes à vêler n'est plus possible. En effet, dans certaines simulations, des génisses sont vendues alors que le taux de réforme est très élevé et que l'occupation de l'atelier laitier n'est pas optimale.

IV.2. Principaux enseignements relatifs à la gestion de la réforme en élevage

- Seuil de production laitière minimale : principal levier dans l'optimisation zootechnique et économique de l'élevage

Les résultats montrent clairement que le gain marginal de la longévité moyenne du troupeau dépend de la sévérité vis-à-vis de la production laitière dans les règles de réforme. En effet, il apparaît clairement une forte sensibilité des résultats au niveau de la production laitière lors de la réforme (*Figure 29*), avec un décrochage entre 15 et 18L de lait à la production. Les scénarios de réforme Mi1 présentent un gain marginal maximal, proche des scénarios Mi2 alors que les scénarios Mi0 présentent un gain marginal largement inférieur. L'augmentation du seuil de production laitière minimale (de 12 à 18 L) entraîne une augmentation du taux de réforme et ainsi une diminution de la longévité moyenne du troupeau.

Ces résultats doivent être replacés dans un contexte où les réformes restent majoritairement associées aux règles de production de lait (*Figures 11 et 16*). Les réformes pour cause de mauvaise santé de la mamelle et de boiteries ne sont pas les réformes principales, y compris dans les scénarios les plus dégradés en termes d'hygiène et de prévalence de boiteries. En effet, les réformes liées à une production laitière faible restent prépondérantes dans ces scénarios, même si les réformes pour les autres causes sont plus importantes que dans d'autres scénarios. Cependant, les vaches pré-réformées pour boiterie ou une santé de la mamelle dégradée et finalement réformées pour production laitière sont inclus dans les causes de réforme pour production laitière, ce qui augmente artificiellement cette catégorie. Ces vaches restent en effet dans le troupeau jusqu'à ce que leur production franchisse un seuil prédéfini conduisant à leur réforme.

Les résultats montrent aussi qu'appliquer des règles strictes de réforme vis-à-vis de la production laitière entraîne une augmentation du nombre de primipares réformées. Celles-ci étant de plus faibles productrices que les multipares, il serait intéressant d'appliquer des règles de réforme (seuil de production) différentes en fonction de leur parité. En effet, appliquer des seuils de production minimale différents aux vaches primipares de ceux des multipares pourrait permettre d'améliorer la gestion des réformes dans le modèle. Toutefois, ce biais semble limité car les multipares représentant 70% à 85 % des réformes dans la situation actuelle.

- Stratégies de gestion de l'élevage : taille du troupeau et bien-être animal

Il apparaît dans le modèle que dans certains scénarios, la gestion d'un troupeau de 90 vaches peut suffire à atteindre une production laitière totale sensiblement identique voire supérieure à celle d'un troupeau de 100 vaches. Ces éléments montrent que la stratégie adoptée par l'éleveur ne doit pas dépendre uniquement de la taille de son cheptel mais elle doit prendre en compte une multitude de paramètres permettant d'optimiser ses résultats de performances globales. Même si l'impact carbone n'est pas intégré dans le modèle à ce jour, il est fort probable que la baisse du nombre de vaches est associée à une baisse des émissions de gaz à effet de serre. L'approche multicritère proposée ici permet ainsi de mieux comprendre les effets de seuils et les critères de décision. Il apparaît en effet dans les résultats qu'un nombre de vaches trop bas reste systématiquement associé à des revenus faibles.

L'outil réforme est un levier d'action important vis-à-vis du bien-être animal. Les critères de longévité (nombre de semaine de vie productive) représentent en effet un critère de durabilité économique sociétale et environnementale de l'atelier bovin laitier.

- Diversité des règles de réforme

L'optimisation économique des résultats (*Tableaux 5 et 6*) montre les compromis à réaliser lors de la recherche de certains objectifs de production (temps de travail, revenu, ALEA...). Ils montrent la difficulté de solutions associées à des faibles impacts sociétales de l'élevage (usages d'antibiotiques par exemple) sans dégradation des conditions de travail (temps de travail), comme déjà illustré pour la reproduction (Tassain, 2020) et la qualité du lait (Cailleux, 2021).

Les résultats d'optimisation apparaissent cependant légèrement instables, avec une bonne capacité du modèle à identifier la gamme de pratiques d'intérêt (Udd0 ou Udd1 et Lame0, Lame1 et Lame 2, *Tableau 6*), mais une difficulté à identifier de manière plus précise les pratiques à recommander. Ces résultats sont en accord avec la difficulté de définir une stratégie précise et générique dans le cas de la réforme, cette entité étant particulièrement multifactorielle et très sensible au contexte, comme illustré préalablement dans ce travail. Afin de permettre une meilleure vue d'ensemble des résultats, et de conforter les conclusions identifiées ici, la recherche de la seconde meilleure solution (voire de la 3ème) permettrait d'identifier le coût marginal (attendu comme étant très faible) de solutions alternatives.

V. Conclusion

La gestion des réformes en élevage bovin laitier représente des enjeux zootechniques sanitaires, sociétaux et économiques. En effet, la réforme est en lien avec la production laitière, la santé et le bien-être animal et impacte également les revenus de l'éleveur. Il est donc primordial de définir des règles décisionnelles de réforme claires et de les appliquer à l'animal et au moment adéquat. Cette étude mobilise l'outil d'analyse bioéconomique Dairy Health Simulator (DHS®). Ce dernier a permis de simuler de multiples scénarios de réforme dans différents contextes d'élevage. Les résultats montrent des interactions des règles de réformes entre elles mais aussi avec le profil des vaches réformées. Par ailleurs, le taux de réforme est un indicateur de longévité du troupeau qui améliore le bien-être animal et les revenus de l'éleveur lorsqu'il diminue. Les résultats montrent qu'une modification des règles de réformes concernant la production laitière a des répercussions importantes tant sur les résultats biologiques que sur les résultats économiques alors que les règles de réformes concernant la santé de la mamelle et les boiteries n'ont que peu d'influence sur ces résultats. Ces résultats originaux permettent d'envisager une meilleure approche des réformes par les éleveurs afin d'optimiser leurs résultats bioéconomiques. Cependant chaque stratégie de gestion des réformes doit être adaptée à l'élevage et à ses caractéristiques. Enfin, ce travail a permis de suggérer des améliorations du modèle DHS®, et d'affiner l'aide à la prise de décision qu'il pourrait apporter.

VI. Bibliographie

Anderson, J.R., Dillon, J.L., 1992. Risk analysis in dryland farming systems. Food & Agriculture Org.

Arendonk, J. A. M. van., 1985. « A Model to Estimate the Performance, Revenues and Costs of Dairy Cows under Different Production and Price Situations ». *Agricultural Systems* 16, n° 3 : 157-89. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(85\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0308-521X(85)90010-1).

Bascom, S.S., et A.J. Young., 1998. « A Summary of the Reasons Why Farmers Cull Cows ». *Journal of Dairy Science* 81, n° 8: 2299-2305. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75810-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75810-2).

Bruijnis, M.R.N., H. Hogeveen, et E.N. Stassen, 2010. « Assessing Economic Consequences of Foot Disorders in Dairy Cattle Using a Dynamic Stochastic Simulation Model ». *Journal of Dairy Science* 93, n° 6 : 2419-32. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2721>.

Cabrera, V.E., 2010. « A Large Markovian Linear Program to Optimize Replacement Policies and Dairy Herd Net Income for Diets and Nitrogen Excretion ». *Journal of Dairy Science* 93, n° 1: 394-406. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2352>.

Cailleux, V. Approche bioéconomique d'optimisation de la gestion des Mammites en élevage bovin laitier. Thèse Méd. Vét. (École nationale vétérinaire de Toulouse : Toulouse, 2021).

Cha, E., A. R. Kristensen, J. A. Hertl, Y. H. Schukken, L. W. Tauer, F. L. Welcome, et Y. T. Gröhn, 2014. « Optimal Insemination and Replacement Decisions to Minimize the Cost of Pathogen-Specific Clinical Mastitis in Dairy Cows ». *Journal of Dairy Science* 97, n° 4: 2101-17. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7067>.

Compton, C.W.R., C. Heuer, P.T. Thomsen, T.E. Carpenter, C.V.C. Phyn, et S. McDougall, 2017. « Invited Review: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis of Mortality and Culling in Dairy Cattle ». *Journal of Dairy Science* 100, n° 1: 1-16. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11302>.

CNIEL, 2019. L'économie laitière en chiffres – édition 2019 [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://fr.calameo.com/read/0022300516dd96abad95b>.

De Vries, A., 2004. « Economics of Delayed Replacement When Cow Performance Is Seasonal ». *Journal of Dairy Science* 87, n° 9 : 2947-58. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73426-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73426-8).

De Vries, A., 2006. « Economic Value of Pregnancy in Dairy Cattle ». *Journal of Dairy Science* 89, n° 10 : 3876-85. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72430-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72430-4).

De Vries, A., 2006. « Improved Accuracy of a Model to Optimize Breeding and Replacement Decisions for Dairy Cattle ». In *Computers in Agriculture and Natural Resources, 23-25 July 2006, Orlando Florida*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.21947>.

De Vries, A, E.A.M. Bokkers, T. Dijkstra, G. van Schaik, et I.J.M. de Boer, 2011. « Invited Review: Associations between Variables of Routine Herd Data and Dairy Cattle Welfare Indicators ». *Journal of Dairy Science* 94, n° 7: 3213-28. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4169>.

De Vries, Albert, 2020. « Symposium Review: Why Revisit Dairy Cattle Productive Lifespan? » *Journal of Dairy Science* 103, n° 4: 3838-45. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17361>.

Dechow, C.D., et R.C. Goodling, 2008. « Mortality, Culling by Sixty Days in Milk, and Production Profiles in High- and Low-Survival Pennsylvania Herds ». *Journal of Dairy Science* 91, n° 12 : 4630-39. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1337>.

Enting, H., D. Kooij, A. A. Dijkhuizen, R. B. M. Huirne, et E. N. Noordhuizen-Stassen, 1997. « Economic Losses Due to Clinical Lameness in Dairy Cattle ». *Livestock Production Science* 49, n° 3 : 259-67. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00051-1).

Ettema, Jehan Frans, et Søren Østergaard, 2006. « Economic Decision Making on Prevention and Control of Clinical Lameness in Danish Dairy Herds ». *Livestock Science* 102, n° 1 : 92-106. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.11.021>.

Ettema, Jehan, Søren Østergaard, et Anders Ringgaard Kristensen, 2010. « Modelling the Economic Impact of Three Lameness Causing Diseases Using Herd and Cow Level Evidence ». *Preventive Veterinary Medicine* 95, n° 1 : 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.03.001>.

Ferchiou A., G. Lhermie, D. Raboisson, 2021. « New standards in bio-economic modelling applied to animal health: health management optimization for rational decision-making using the example of dairy production ». *Agricultural Systems* n/a, no n/a.

Fetrow, J., 1987. Culling dairy cows. *The bovine proceedings*, 20, 102-107.

Freund, Rudolf J., 1956 « The Introduction of Risk into a Programming Model ». *Econometrica* 24, no 3 : 253-63. <https://doi.org/10.2307/1911630>.

Friggens, N.C., K.L. Ingvarstsen, et G.C. Emmans, 2004. « Prediction of Body Lipid Change in Pregnancy and Lactation ». *Journal of Dairy Science* 87, n° 4: 988-1000. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73244-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73244-0).

Giordano, J.O., A.S. Kalantari, P.M. Fricke, M.C. Wiltbank, et V.E. Cabrera, 2012. « A Daily Herd Markov-Chain Model to Study the Reproductive and Economic Impact of Reproductive Programs Combining Timed Artificial Insemination and Estrus Detection ». *Journal of Dairy Science* 95, n° 9: 5442-60. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4972>.

Groenendaal, H., D.T. Galligan, et H.A. Mulder, 2004. « An Economic Spreadsheet Model to Determine Optimal Breeding and Replacement Decisions for Dairy Cattle ». *Journal of Dairy Science* 87, n° 7: 2146-57. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70034-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70034-X).

Gröhn, Y. T., P. J Rajala-Schultz, H. G Allore, M. A DeLorenzo, J. A Hertl, et D. T Galligan, 2003. « Optimizing Replacement of Dairy Cows: Modeling the Effects of Diseases ». *Preventive Veterinary Medicine* 61, n° 1: 27-43. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00158-2).

Gussmann, Maya, Carsten Kirkeby, Kaare Græsbøll, Michael Farre, et Tariq Halasa, 2018. « A Strain-, Cow-, and Herd-Specific Bio-Economic Simulation Model of Intramammary Infections in Dairy Cattle Herds ». *Journal of Theoretical Biology* 449: 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.04.022>.

Gussmann, Maya, Kaare Græsbøll, Nils Toft, Søren S. Nielsen, Michael Farre, Carsten Kirkeby, et Tariq Halasa, 2018. « Determinants of Antimicrobial Treatment for Udder Health in Danish Dairy Cattle Herds ». *Journal of Dairy Science* 101, n° 1: 505-17. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12994>.

Gussmann, Maya, Matt Denwood, Carsten Kirkeby, Michael Farre, et Tariq Halasa, 2019. « Associations between Udder Health and Culling in Dairy Cows ». *Preventive Veterinary Medicine* 171: 104751. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104751>.

Haas, Y. de, H.W. Barkema, et R.F. Veerkamp, 2002. « The Effect of Pathogen-Specific Clinical Mastitis on the Lactation Curve for Somatic Cell Count ». *Journal of Dairy Science* 85, n° 5: 1314-23. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74196-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74196-9).

Hardaker, J. B., 2004. *Coping with Risk in Agriculture: Applied Decision Analysis*. CABI.

IDELE, 2019. Prix de revient du lait de vache – rica. Institut de l'élevage [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://idele.fr/services/outils/prix-de-revient-du-lait-de-vache-rica/print.html>.

IDELE, & CNE, 2019. Les chiffres clés du GEB - Bovins 2019 - Productions lait et viande. GEB – Institut de l'élevage [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/5b3c010e-1d9a-4c07-886f-24a5b8480acc.

Inchaisri, C., R. Jorritsma, P. L. A. M. Vos, G. C. van der Weijden, et H. Hogeveen, 2010. « Economic Consequences of Reproductive Performance in Dairy Cattle ». *Theriogenology* 74, n° 5: 835-46. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.04.008>.

Inchaisri, C., R. Jorritsma, P.L.A.M. Vos, G.C. van der Weijden, et H. Hogeveen, 2011. « Analysis of the Economically Optimal Voluntary Waiting Period for First Insemination ». *Journal of Dairy Science* 94, n° 8: 3811-23. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3790>.

JEANNE, D., 2019. Trésoreries des élevages bovins - Une situation toujours morose fin 2018. Web-Agri [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.web-agri.fr/charges-elevage/article/164151/elevages-bovins-une-situation-economique-toujours-morose-fin-2018>.

Kalantari, A.S., et V.E. Cabrera, 2012. « The Effect of Reproductive Performance on the Dairy Cattle Herd Value Assessed by Integrating a Daily Dynamic Programming Model with a Daily Markov Chain Model ». *Journal of Dairy Science* 95, n° 10: 6160-70. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5587>.

Kocherlakota, N., 1996. Implications of Efficient Risk Sharing without Commitment. *Review of Economic Studies* 63, 595–609.

Korver, S., 1984. « Efficiency of Breeds for Milk and Beef Production ». In *Proc. British Cattle Breeders Club Winter Conf., Cambridge*, 21-26. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/78402>.

Kristensen, E., S. Østergaard, M.A. Krogh, et C. Enevoldsen, 2008. « Technical Indicators of Financial Performance in the Dairy Herd ». *Journal of Dairy Science* 91, n° 2: 620-31. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0201>.

Ma, J., E. E. A. Burgers, T. G. J. M. Lam, B. Kemp, et A. T. M. van Knegsel., 2020. « Consequences of Extending the Voluntary Waiting Period for Insemination on Ovarian Cyclicity and Reproductive Performance in Dairy Cows ». In *Wias Annual Conference 2020*, 69-69, 2020. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/563093>.

Mahnani, A., A. Sadeghi-Sefidmazgi, et V.E. Cabrera, 2015. « Consequences and Economics of Metritis in Iranian Holstein Dairy Farms ». *Journal of Dairy Science* 98, n° 9: 6048-57. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8862>.

Margerison, J., et N. Downey., 2005. « Guidelines for optimal dairy heifer rearing and herd performance ». *Calf and Heifer Rearing: Principles of Rearing the Modern Dairy Heifer from Calf to Calving*, Nottingham University Press, Nottingham, 307-38.

Markowitz, H.M., 1959. *Portfolio Selection*. Yale University Press.

Meadows, C., P.J. Rajala-Schultz, et G.S. Frazer, 2005. « A Spreadsheet-Based Model Demonstrating the Nonuniform Economic Effects of Varying Reproductive Performance in Ohio Dairy Herds ». *Journal of Dairy Science* 88, n° 3: 1244-54. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72791-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72791-0).

Mohd Nor, N., W. Steeneveld, M.C.M. Mourits, et H. Hogeveen, 2015. « The Optimal Number of Heifer Calves to Be Reared as Dairy Replacements ». *Journal of Dairy Science* 98, n° 2: 861-71. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8329>.

Opsomer, G., M. Coryn, et A. de Kruif, 1999. « Measurement of Ovarian Cyclicity in the Post Partum Dairy Cow by Progesterone Analysis ». *Reproduction in Domestic Animals* 34, n° 3-4: 297-300. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1999.tb01255.x>.

Østergaard, S., et Y.T. Gröhn, 1999. « Effects of Diseases on Test Day Milk Yield and Body Weight of Dairy Cows from Danish Research Herds ». *Journal of Dairy Science* 82, n° 6: 1188-1201. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75342-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75342-7).

Østergaard, S., J. T. Sørensen, et H. Houe, 2003. « A Stochastic Model Simulating Milk Fever in a Dairy Herd ». *Preventive Veterinary Medicine* 58, n° 3: 125-43. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00049-7).

Østergaard, S., M.G.G. Chagunda, N.C. Friggens, T.W. Bendedsgaard, et I.C. Klaas, 2005. « A Stochastic Model Simulating Pathogen-Specific Mastitis Control in a Dairy Herd ». *Journal of Dairy Science* 88, n° 12: 4243-57. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73111-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73111-8).

Raboisson, D., M. Mounié, et E. Maigné, 2014. « Diseases, Reproductive Performance, and Changes in Milk Production Associated with Subclinical Ketosis in

Dairy Cows: A Meta-Analysis and Review ». *Journal of Dairy Science* 97, no 12: 7547-63. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8237>.

Raboisson, D., M. Mounié, E. Khenifar, et E. Maigné, 2015. « The Economic Impact of Subclinical Ketosis at the Farm Level: Tackling the Challenge of over-Estimation Due to Multiple Interactions ». *Preventive Veterinary Medicine*, Special Issue SVEPM 2015 Annual Conference of The Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine, 122, n° 4: 417-25. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.07.010>.

Raboisson, D., Trillat, P., & Cahuzac, C., 2016. Failure of passive immune transfer in calves: A meta-analysis on the consequences and assessment of the economic impact. *PLOS ONE*, 11(3), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150452>.

Raboisson, D., M. Barbier, 2017. « Economic Synergy between Dry Cow Diet Improvement and Monensin Bolus Use to Prevent Subclinical Ketosis: An Experimental Demonstration Based on Available Literature ». *Frontiers in Veterinary Science* 4. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00035>.

Rio, O. Fréquences et risques de mortalité et troubles de santé des veaux en élevage laitier. Thèse Méd. Vét. (École nationale vétérinaire de Nantes: Nantes, 1999).

Rutten, C.J., W. Steeneveld, C. Inchaisri, et H. Hogeveen, 2014. « An Ex Ante Analysis on the Use of Activity Meters for Automated Estrus Detection: To Invest or Not to Invest? » *Journal of Dairy Science* 97, n° 11: 6869-87. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7948>.

Rutten, C.J., W. Steeneveld, J.C.M. Vernooij, K. Huijps, M. Nielen, et H. Hogeveen, 2016. « A Prognostic Model to Predict the Success of Artificial Insemination in Dairy Cows Based on Readily Available Data ». *Journal of Dairy Science* 99, n° 8: 6764-79. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10935>.

Santos, J.E.P., S.O. Juchem, R.L.A. Cerri, K.N. Galvão, R.C. Chebel, W.W. Thatcher, C.S. Dei, et C.R. Bilby, 2004. « Effect of BST and Reproductive Management on Reproductive Performance of Holstein Dairy Cows ». *Journal of Dairy Science* 87, n° 4: 868-81. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73231-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73231-2).

SCOHY, D., 2021. Temps de travail 55 heures/semaine en moyenne pour un agriculteur, qui dit mieux? Web-Agri [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.web-agri.fr/temps-de-travail/article/177119/55-heures-semaine-en-moyenne-pour-un-agriculteur-qui-dit-mieux->

Shahinfar, Saleh, Jerry N. Guenther, C. David Page, Afshin S. Kalantari, Victor E. Cabrera, Paul M. Fricke, et Kent A. Weigel, 2015. « Optimization of Reproductive Management Programs Using Lift Chart Analysis and Cost-Sensitive Evaluation of Classification Errors ». *Journal of Dairy Science* 98, n° 6: 3717-28. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8255>.

Sørensen, Jan Tind, Erik Steen Kristensen, et Iver Thysen, 1992. « A Stochastic Model Simulating the Dairy Herd on a PC ». *Agricultural Systems* 39, n° 2: 177-200. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(92\)90107-Y](https://doi.org/10.1016/0308-521X(92)90107-Y).

Sprecher, D. J., D. E. Hostetler, et J. B. Kaneene, 1997. « A Lameness Scoring System That Uses Posture and Gait to Predict Dairy Cattle Reproductive Performance ». *Theriogenology* 47, no 6: 1179-87. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00098-8).

Tassain, M. Approche bioéconomique d'optimisation de la gestion de la reproduction dans les populations de bovins. Thèse Méd. Vét. (École nationale vétérinaire de Toulouse : Toulouse, 2020).

Valvekar, M., V. E. Cabrera, et B. W. Gould, 2010. « Identifying Cost-Minimizing Strategies for Guaranteeing Target Dairy Income over Feed Cost via Use of the Livestock Gross Margin Dairy Insurance Program ». *Journal of Dairy Science* 93, no 7: 3350-57. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2815>.

Von Neumann, John, et Oskar Morgenstern. *Theory of games and economic behavior*, 2nd rev. ed. *Theory of games and economic behavior*, 2nd rev. ed. Princeton, NJ, US: Princeton University Press, 1947.

Wathes, D.C., G.E. Pollott, K.F. Johnson, H. Richardson, et J.S. Cooke, 2014. « Heifer Fertility and Carry over Consequences for Life Time Production in Dairy and Beef Cattle ». *Animal* 8: 91-104. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000755>.

Wood, P. D. P., 1967 « Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle ». *Nature* 216, n° 5111: 164-65. <https://doi.org/10.1038/216164a0>.

VII. Annexes

Annexe 1 : Paramètres d'entrée du modèle biologique

Paramètres	Sources
Risques et effets des maladies	Enting et al., 1997 ; Østergaard et Gröhn, 1999 ; Gröhn et al., 2003 ; Østergaard, Sørensen, et Houe, 2003 ; Ettema et Østergaard, 2006 ; Raboisson, Mounié, et Maigné, 2014 ; Raboisson et al., 2015 ; Mahnani, Sadeghi-Sefidmazgi, et Cabrera, 2015 ; Raboisson et Barbier, 2017.
Risques et effets des mammites (Clinique et subclinique)	De Haas, Barkema, et Veerkamp, 2002 ; Gröhn et al., 2003 ; Østergaard, Sørensen, et Houe, 2003 ; Østergaard et al., 2005 ; Cha et al., 2014 ; Raboisson, Mounié, et Maigné, 2014.
Lactation	Wood, 1967 ; Meadows, Rajala-Schultz, et Frazer, 2005 ; Rutten et al., 2016.
Poids et besoin alimentaire	Van Arendonk, 1985 ; Friggens, Ingvarsen, et Emmans, 2004 ; Giordano et al., 2012.
Reproduction et croissance des génisses	Gröhn et al., 2003 ; Groenendaal, Galligan, et Mulder, 2004 ; De Vries, 2006 ; Inchaisri et al., 2010 ; Wathes et al., 2014 ; Mahnani, Sadeghi-Sefidmazgi, et Cabrera, 2015 ; Mohd Nor et al., 2015
Paramètres de reproduction	Opsomer, Coryn, et de Kruif, 1999 ; Østergaard, Sørensen, et Houe, 2003 ; Østergaard et al., 2005 ; De Vries, 2004 ; Groenendaal, Galligan, et Mulder, 2004 ; Santos et al., 2004 ; Meadows, Rajala-Schultz, et Frazer, 2005 ; De Vries, 2006 ; Kristensen et al., 2008 ; Cabrera, 2010 ; Ettema, Østergaard, et Kristensen, 2010 ; Inchaisri et al., 2010 ; Inchaisri et al., 2011 ; Giordano et al., 2012 ; Kalantari et Cabrera, 2012 ; Raboisson, Mounié, et Maigné, 2014 ; Rutten et al., 2014 ; Rutten et al., 2016 ; Wathes et al., 2014 ; Mahnani, Sadeghi-Sefidmazgi, et Cabrera, 2015 ; Mohd Nor et al., 2015 ; Shahinfar et al., 2015.
Règles de réforme	Sørensen, Kristensen, et Thysen, 1992 ; Østergaard et al., 2005 ; Dechow et Goodling, 2008 ; Kristensen et al., 2008 ; Cha et al., 2014 ; Rutten et al., 2014 ; Mahnani, SadeghiSefidmazgi, et Cabrera, 2015 ; Mohd Nor et al., 2015

Annexe 2 : Paramètres de calibrage des fonctions de production

Label	Unité	Valeur	Reference
BW _{Birth}	kg	44	Authors
ADG	kg	< 6 mois d'âge : 0.65 Jusqu'au premier vêlage : 0.75	Authors
t _{pc}	-	P _{t - 50} > 0 : P _{t - 50} P _{t - 50} ≥ 0 : 0	Van Arendonk, 1985.
k	-	0.0028	Korver, 1984.
p ₁	kg	50	Van Arendonk, 1985.
p ₂	kg	75	Van Arendonk, 1985.
BW _{MAT}	kg	U(650, 725)	Authors
Carc _{Cull}	%	55	Authors
DMI _{dry-off}	kg	13 ± 0.33	Authors
a (L1, L2, L3+)		7.418 ; 11.274 ; 10.478	Meadows, Rajala-Schultz, et Frazer, 2005.
b (L1, L2, L3+)		0.429 ; 0.411 ; 0.447	Meadows, Rajala-Schultz, et Frazer, 2005.
c (L1, L2, L3+)		0.00525 ; 0.00666 ; 0.00725	Meadows, Rajala-Schultz, et Frazer, 2005.
DRY _{Length}		7	Authors
PREG _{Length}		40 ± 0.86	De Vries, 2006.
P _{heat}	%	1 ^{ère} ovulation : 10 2 ^{nde} ovulation : 50 > 3 ^{ème} ovulation : 70	Inchaisri et al., 2011.
P _{detect}	%	63	Wathes et al., 2014.
P _{insem}	%	65	Wathes et al, 2014.
P _{abort}	%	3.5; 2.5; 1.5; 0.5; 0.25; 0.1; 0.1	Santos et al., 2004.
P _{cycle}	%	PM ^a : 0; 10; 10; 10; 50; 50; 50; 100 MP ^a : 0; 10; 50; 50; 50; 100; 100; 100	Authors
Stillbirth	%	5	Authors
HeifAgePub	semaines	U(32, 58)	Wathes et al., 2014.
HeifWeiPub	kg	274	Wathes et al, 2014.
HeifAgeElig	semaines	59	Wathes et al, 2014.
HeifWeiElig	%BW _{MAT}	U(55, 65)	Margerison et Downey, 2005.
GenderRatio	%	50	Authors

a : PM : primipares ; MP : multipares

Annexe 3 : Table de calcul des besoins alimentaires en UFL, protéines brutes et fibres

Prod. laitière quotidienne (kg/day)	Besoins alimentaires		
	UFL (/kg DMI)	Protéines Brutes (% DMI ^a)	Fibres Brutes (% DMI ^a)
0 (dry-off)	0,8-0,85	10 to 12	22-24
<20	0,85-0,90	13-14	20-22
20-25	0,90-0,93	14-15	19-21
25-30	0,93-0,97	15-16	18-20
30-35	0,95-1	16-16,5	17-19
>35	0,98-1	16,5-17	16-18

^a : DMI : apport en matière sèche

Annexe 4 : Comptage des cellules somatiques après une infection de mammite clinique par agent

	Impact on SCC x 10 ³				Daily slope after
	WkOcc1	WkOcc2	WkOcc3	WkOcc4	
<i>Staphylococcus aureus</i>	1644	344	231	118	-559
<i>Streptococcus spp.</i>	1774	374	264	154	-1100
<i>Escherichia coli</i>	1666	416	287	158	-559
<i>Klebsiella spp.</i>	1666	416	287	158	-559
Negative cultures	1440	493	363	233	-1317
Other cultures	1660	474	370	266	-999

Source: Østergaard et al., 2005 ; Cha et al., 2014.

	Traitement dans les temps			Traitement retardé			Pas de traitement		
	1 st Inf.	Recid.	Relap.	1 st Inf.	Recid.	Relap.	1 st Inf.	Recid.	Relap.
<i>Staphylococcus aureus</i>	50%	50%	100%	20%	20%	0%*	30%	30%	0%*
<i>Streptococcus spp.</i>	50%	50%	100%	20%	20%	0%*	30%	30%	0%*
<i>Klebsiella spp.</i>	90%	90%	0%	0%	0%	90%	10%	10%	10%
<i>Escherichia coli</i>	90%	90%	0%	0%	0%	90%	10%	10%	10%
Cultures Négatives	50%	50%	100%	20%	20%	0%*	30%	30%	0%*
Autres cultures	50%	50%	100%	20%	20%	0%*	30%	30%	0%*

1st Inf : première infection de mammite clinique durant la lactation; Recid. : Récidive, nouvelle infection 21 jours avant la première infection; Relap. : rechute, nouvelle infection 21 jours après la première infection

(*) Toutes les vaches sont traitées dans les temps si elles ne sont pas réformées.

Annexe 5 : Calibration des paramètres pour la simulation des maladies des veaux

	Incidence			Intervention	
	Semaine d'âge d'application	Risque d'incidence pour la période	Reference	Vet.	Eleveur
Echec de transfert d'immunité	0 (naissance)	N(0.1, 0.005)	Raboisson, Trillat, et Cahuzac, 2016.	0%	0%
Diarrhée	1 à 4	N(0.227, 0.127)	Raboisson, Trillat, et Cahuzac 2016.	10%	90%
Maladies respiratoires	1 à 26	N(0.114, 0.015)	Rio, 1999.	10%	90%
Omphalite	1 à 3	N(0.05, 0)	Raboisson, Trillat, et Cahuzac, 2016.	0%	100%
Septicémie	1 à 4	N(0.03, 0)	Raboisson, Trillat, et Cahuzac, 2016.	75%	25%

Annexe 6 : Calendrier des maladies des vaches, calibrage du risque de maladies croisées et de traitement

		Dystocie	Fièvre de lait	Rétention placentaire	Métrite puerpérale	Endométrite purulente	Endométrite subclinique	Déplacement de caillette	Cétose clinique et subclinique	Boiterie	Mammites
Semaine d'application											
Semaine de lactation	0										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	>8										
Calibrage du risque de maladies croisées (colonne et ligne)											
Dystocie											
Hypocalcémie											
Rétention placentaire											
Métrite											
Endométrite purulente											
Endométrite subclinique											
Déplacement de caillette											
Cétose clinique et subclinique											
Boiterie											
Mammites											
Traitement											
Intervention du vétérinaire		0%	50%	25%	85%	25%	0%	85%	50%	0%	0%
Intervention de l'éleveur		0%	50%	75%	15%	75%	100%	15%	50%	100%	100%

Annexe 7 : Caractéristiques des traitements utilisés dans DHS

Nom commercial	Molécule	Nature	Voie	NA	Durée (jour)	Temps d'attente lait (jour)	Temps d'attente viande (jour)
Duphamox_LA	Amoxicilline	AM	SC	1	3	2.5	21
Dexadreson	Dexamethasone	AIS	IM	1	1	3	8
Nuflor	Florfenicol	AM	SC	1	1	0	37
Draxxin100	Tulathromycin	AM	SC	1	1	0	22
Tolfine	Tolfenamic acid	AINS	IM	1	2	0	12
Shotapen	Benzylpenicillin	AM	IM	2	4	5	64
Potencil	Amoxicilline	AM	IM	2	3	0	10
Amphoprim	Sulfadimidine, trimethoprim	AM	IM	2	3	2	5
StopM	Penethamate	AM	IM	1	3	4	14
Colibolus	Colistine	AM	OR	1	3	0	5
Estrumate	Cloprostenol	H	IM	1	1	0	1
Bioveine_GMC	Acetylmethionine, choline, Glucose	ME	IV	2	1	0	0
Bioveine_Calcium	Calcium, Magnesium	ME	IV	0	1	0	0
Speciale2411	Sodium bicarbonate, Glucose, Saccharose	ME	IV	3	1	0	0
Rehydion	Sodium, Potassium, Glucose	REH	OR	3	2	0	0
Metricure	Cefapirin	AM	IVG	1	1	2	2
Lincocine	Lincomycin	AM	IMA	1	1.5	3.5	3
Mastijet	Neomycin	AM	IMA	3	2	4	30
Ubrolexin	Cefalexin	AM	IMA	2	2	5	10
Mastipeni	Benzylpenicillin	AM	IMA	2	2	6.5	7
Masticoli	Cloxacillin	AM	IMA	2	2	4	0
Synulox	Amoxicillin	AM	IMA	2	1.5	4	7
Clamoxyl_Oblets	Amoxicillin	AM	IU	1	1	0	1
Calform_Bolus	Magnesium	ME	OR	0	1		
Cepravin	Cefalonium	AM	IMA	1	1	6	21
Orbeseal	Teat sealant		IMA	0	1	0	0

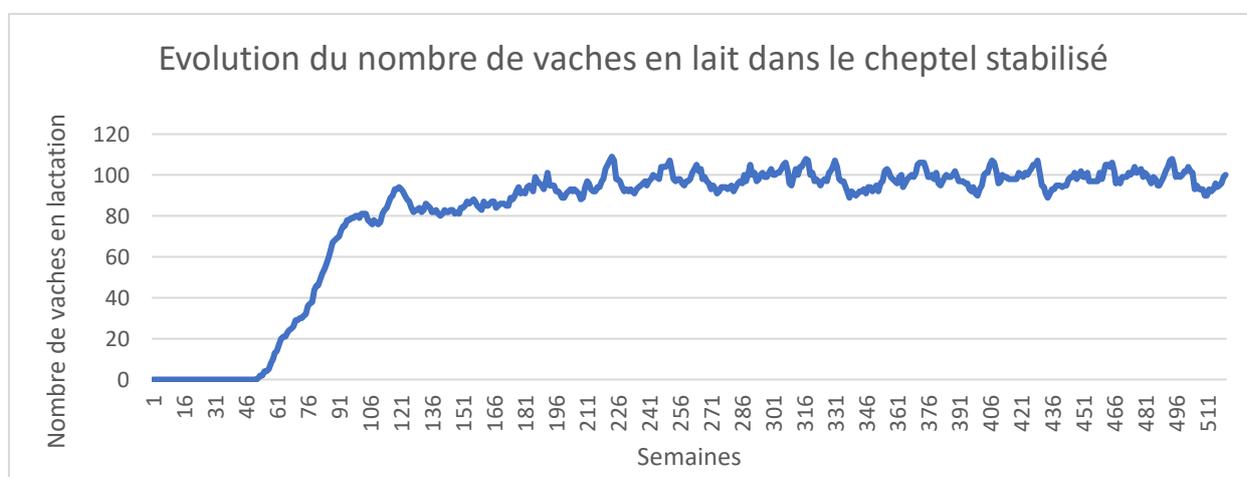
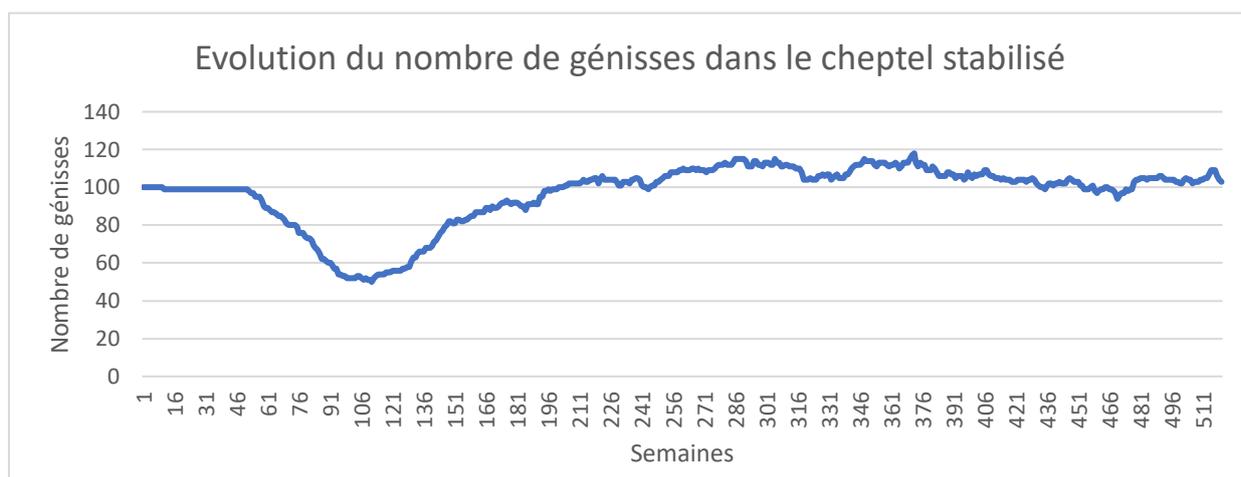
Les médicaments sont supposés utilisés à dose normal. NA : nombre d'applications par animal, MiWT temps d'attente lait et MeWT : temps d'attente viande. Abréviations des voies d'administration des traitements, IM : intramusculaire, IMA : intramammaire, OR : oral, IU : intrautérine, IVG : intravaginal, IV : intraveineux, SC : sous-cutanée. Abréviations pour la nature des traitements, AM : Antibiotiques, AIS : Anti-inflammatoire stéroïdien, AINS : Anti-inflammatoire non stéroïdien, H : Hormones, ME : Perfusion pour troubles métaboliques, REH: Réhydratant

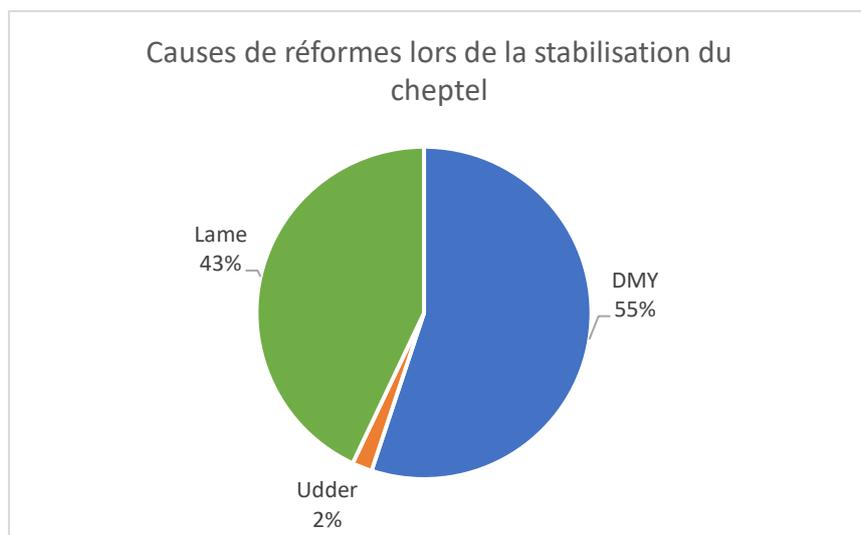
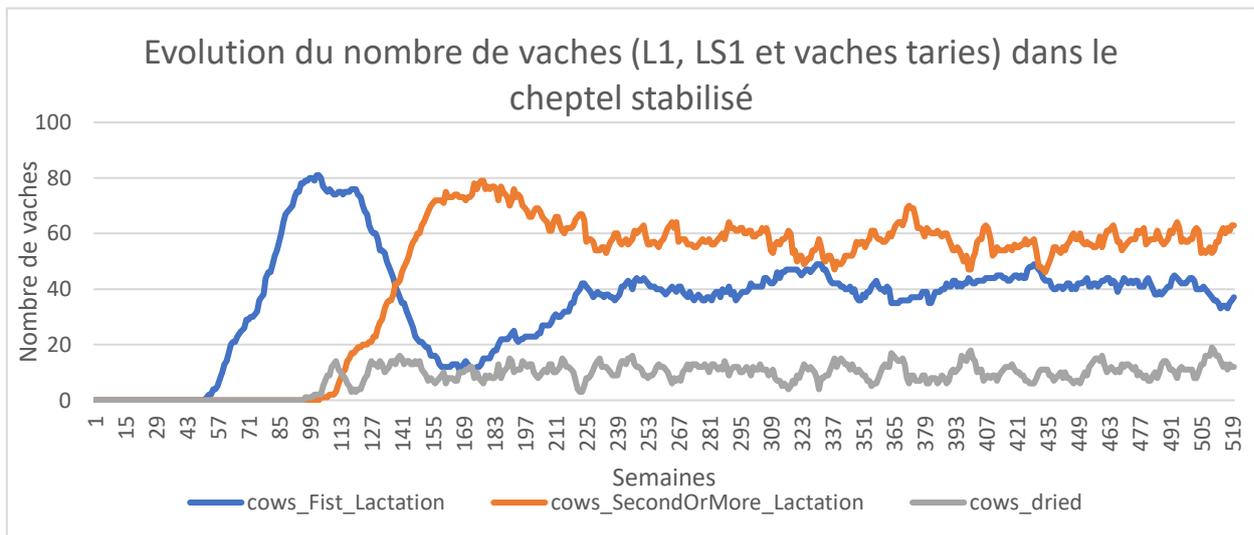
Annexe 8 : Description des règles de réformes

Nom de la règle	Densité	Critères de réforme
A1	< 0,95	<ul style="list-style-type: none"> • Production inférieure à <i>DMY</i> litres de lait par jour • Durée de gestation inférieure à 20 semaines
B1	[0,95 - 1,1]	<ul style="list-style-type: none"> • Vaches pré-réformées • Production inférieure à <i>DMY</i> litres de lait par jour
B2		<ul style="list-style-type: none"> • Vaches pré-réformées • Production supérieure à <i>DMY</i> litres • Combi_Cull > 4
B3		<ul style="list-style-type: none"> • Production inférieure à <i>DMY</i> litres de lait par jour • Durée de gestation inférieure à 26 semaines
B4		<ul style="list-style-type: none"> • Production inférieure à <i>DMY</i> litres de lait par jour • Combi_Cull > 4
B5		<ul style="list-style-type: none"> • Comptage cellulaire de la vache élevé (><i>SccC2</i>) • Comptage cellulaire du tank élevé (><i>SccB1</i>)
B6		<ul style="list-style-type: none"> • Comptage cellulaire de la vache légèrement élevé (><i>SccC1</i>) • Comptage cellulaire du tank très élevé (><i>SccB2</i>)
B7		<ul style="list-style-type: none"> • Comptage cellulaire de la vache très élevé (><i>SccC3</i>)
B8		<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de mammites élevé (><i>Cmc1</i>) • Prévalence des mammites élevée dans le troupeau (<i>Cmh</i>)
B9		<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de mammites très élevé (><i>Cmc2</i>)
B10		<ul style="list-style-type: none"> • Score de boiterie élevé (><i>Lame_c1</i>) • Prévalence des boiteries élevée (><i>h1</i>)
B11		<ul style="list-style-type: none"> • Score de boiterie très élevé (><i>Lame_c2</i>) • Prévalence des boiteries élevée (><i>h1</i>)
B12		<ul style="list-style-type: none"> • Score de boiterie extrêmement élevé (><i>Lame_c3</i>)
B13		<ul style="list-style-type: none"> • Combi_Cull > 4
C1	> 1,1	<ul style="list-style-type: none"> • Combi_Cull > 4
HeifR		<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'insémination > 4

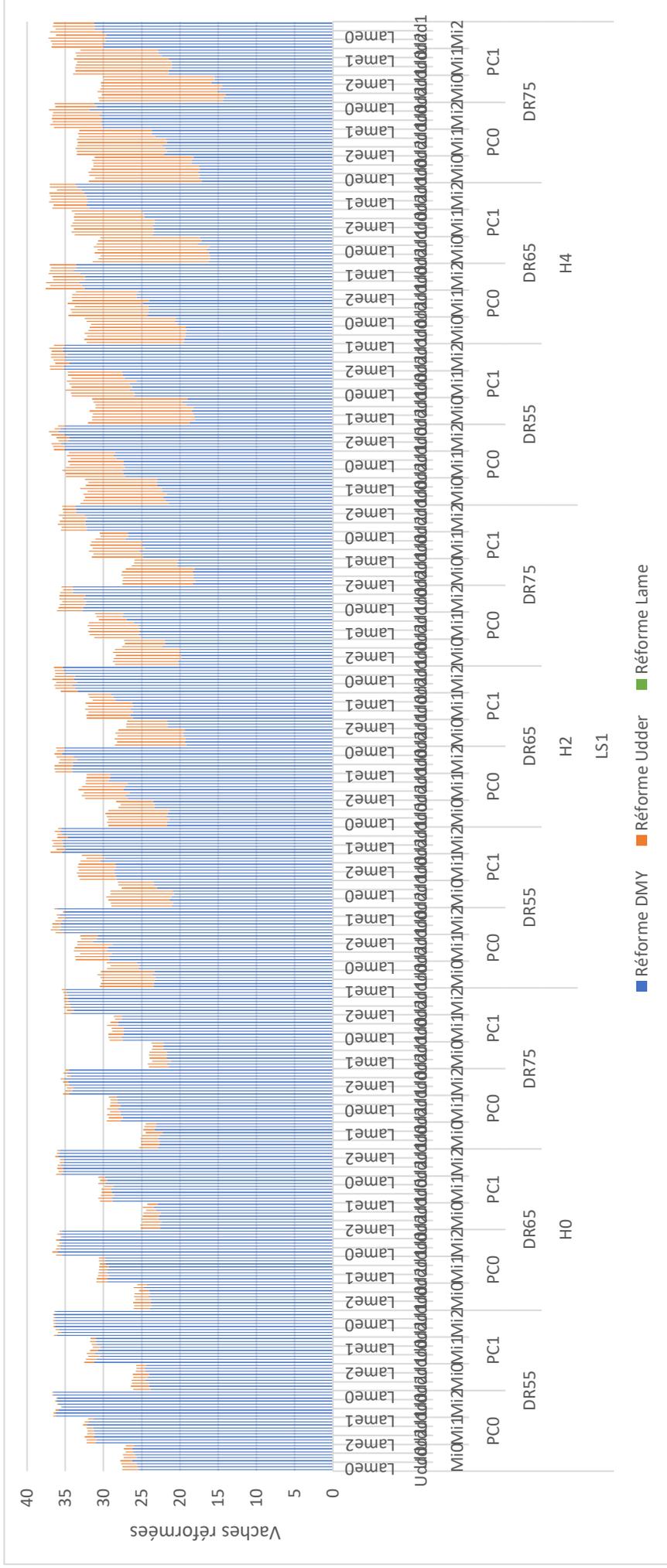
Annexe 9 : Présentation du cheptel stabilisé

	Vaches réformées	Génisses réformées	Mortalité vaches	Mortalité génisses	Ventes génisses gestantes
Nombre total sur 10 ans	187	12	88	43	25
Moyenne annuelle	18,7	1,2	8,8	4,3	2,5
Ecart-type	14,2	1,2	6,3	3,1	2,9

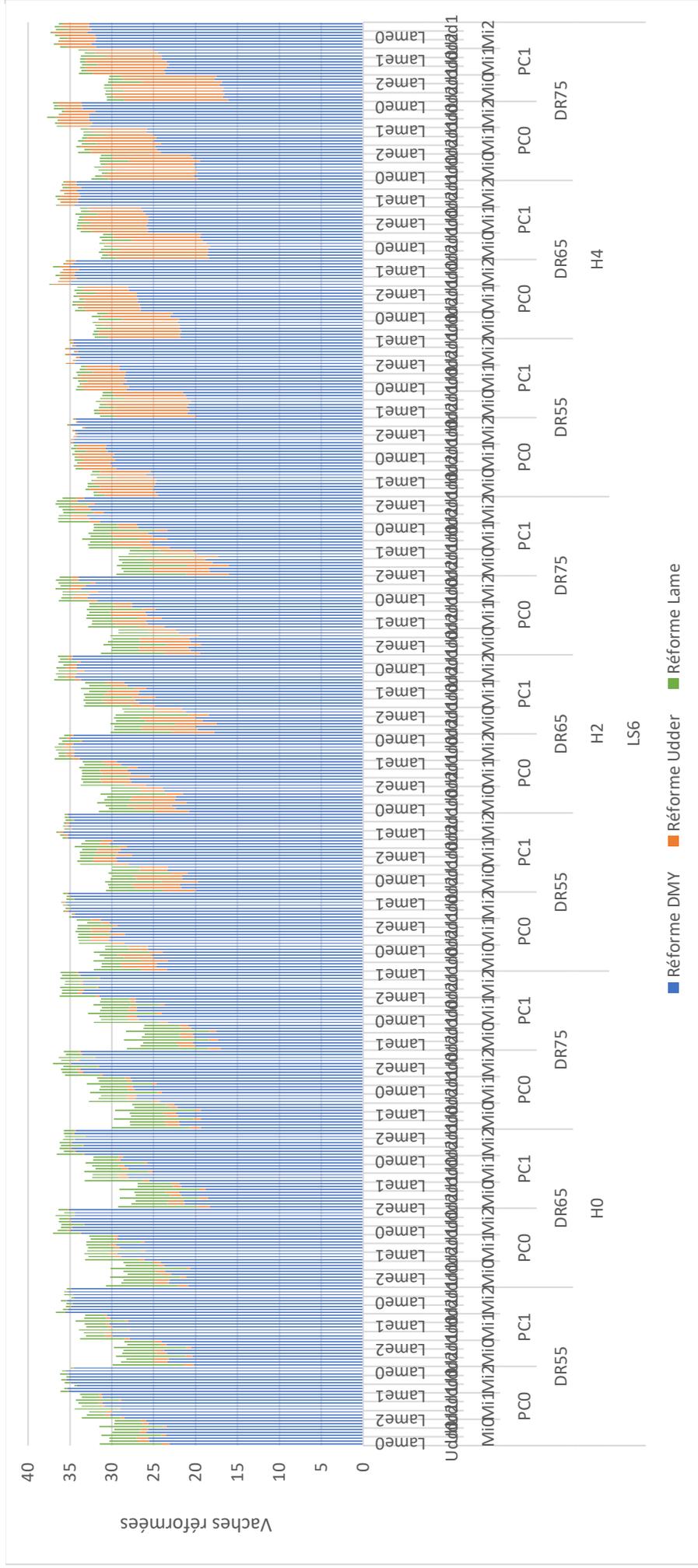




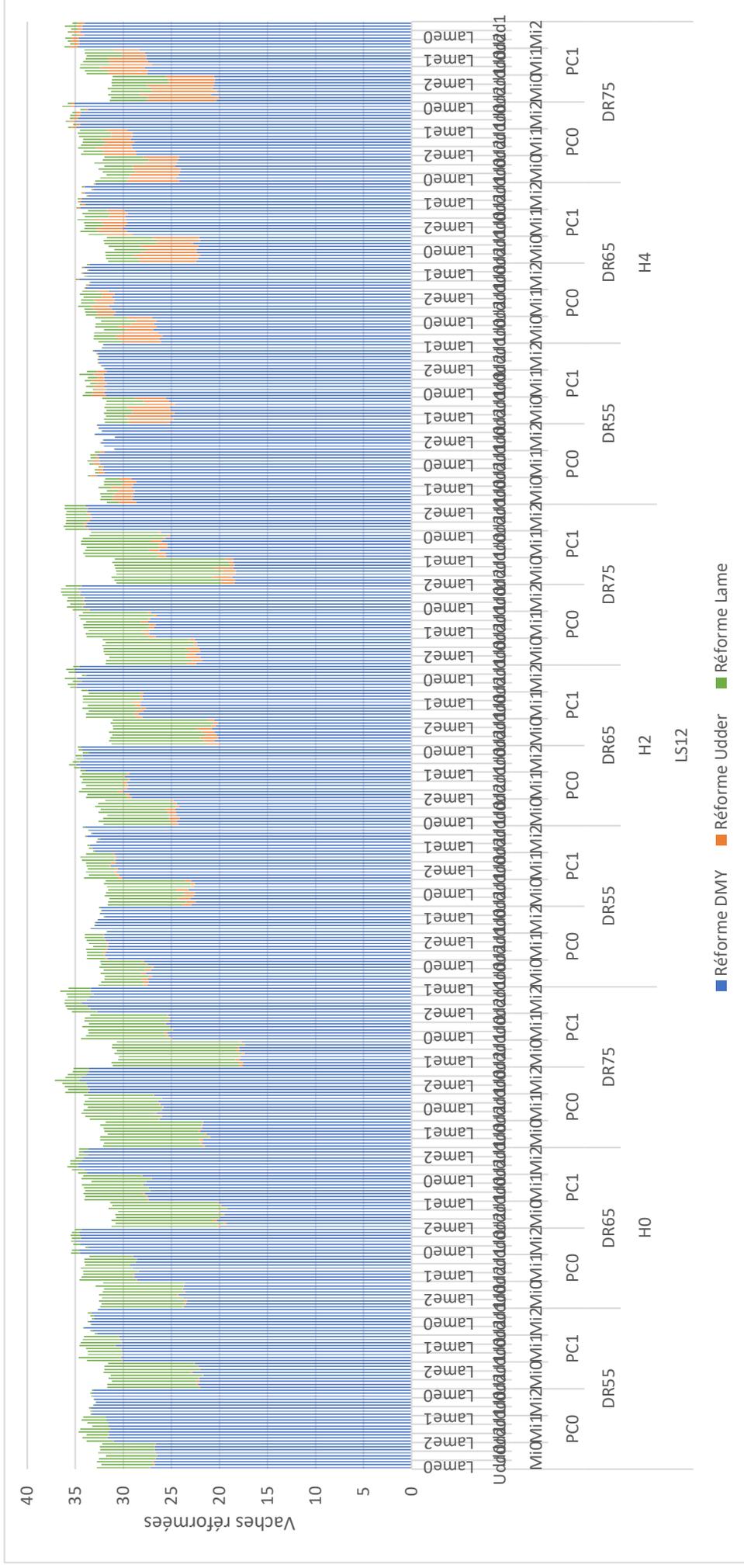
Annexe 10 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS1



Annexe 11 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS6



Annexe 12 : Répartition des causes de réforme pour les scénarios LS12

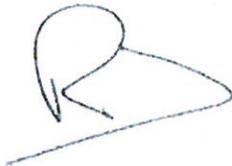


AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Didier RABOISSON, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse commune de COLIN Théo et DUCASSE Benjamin intitulée « **Approche bioéconomique d'optimisation de la gestion des réformes en élevage de bovins laitiers** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 15/04/2021
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Professeur Didier RABOISSON



Vu :
Le Président du jury
Professeur Laurent MOLINIER



Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS



Vu et autorisation de l'impression : Le
Président de l'Université Paul Sabatier
Monsieur Jean-Marc BROTO
Par délégation, le Doyen de la faculté
de Médecine de Toulouse-Rangueil
Monsieur Elie SERRANO



M. COLIN Théo et DUCASSE Benjamin
Ont été admis sur concours en : 2016
Ont obtenu leur diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 06/07/2020
Ont validé leur année d'approfondissement le : 25/03/2021
N'ont plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



NOM : DUCASSE **PRENOM** : BENJAMIN
NOM : COLIN **PRENOM** : THEO

**TITRE : APPROCHE BIOECONOMIQUE DE LA REFORME EN ELEVAGE BOVIN LAITIER :
MODELISATION INFORMATIQUE**

RESUME : En élevage laitier, la réforme est un outil complexe, du fait de la multiplicité des paramètres desquels elle dépend, qu'il est important de maîtriser. Elle a un impact sur les capacités zootechniques et économiques de l'élevage, mais aussi sur le bien-être animal du troupeau. En effet, elle dépend non seulement de critères globaux, tels que la prévalence des boiteries, ou des mammites dans l'élevage, mais aussi de critères individuels tels que la production laitière, la parité, le stade de gestation, et le stade de lactation d'un animal. Ainsi, le modèle d'optimisation bioéconomique DairyHealthSim® permet de déterminer à travers des compromis de temps, d'exposition aux antibiotiques et de longévité, les optimums économiques par le biais de la simulation de différents scénarios. Les résultats montrent que le principal axe de réforme ayant un impact sur les résultats bioéconomiques de l'atelier est celui de la production. Un compromis doit cependant être trouvé afin de concilier santé et longévité du troupeau.

MOTS CLEFS : réforme, élevage laitier, coûts, modèle bioéconomique

**TITLE : OPTIMIZING CULLING MANAGEMENT STRATEGY IN DAIRY PRODUCTION : INSIGHTS
FROM BIOECONOMIC MODELING**

SUMMARY : In dairy farms, culling is a complex tool, due to the multiplicity of parameters it's depending on, which it is important to control. Cull rules have an impact on the zootechnical and economic capacities of the farm, but also on the animal welfare of the herd. Indeed, it depends not only on global criteria, such as the prevalence of lameness or mastitis in the herd, but also on individual criteria such as milk production, parity, stage of gestation, and stage of lactation. Thus, the DairyHealthSim® bioeconomic optimization model allows to determine economic optima through trade-offs of time, antibiotic exposure and longevity, with the simulation of different scenarios. The results show that the main axis of reform that has an impact on the bioeconomic results of the workshop is production. However, a compromise must be found in order to reconcile health and longevity of the herd.

KEYWORDS : culling, dairy cattle, costs, bioeconomic modelling