Description fonctionnelle et modalités d'emploi

Version 1.6 - 10/2026

Philippe Gontier - Nathalie Bareille

ONIRIS - INRAE - UMR BIOEPAR
F-44300 Nantes, France
Tél : +33 2 40 68 76 48
Email : philippe.gontier@inrae.fr

Site web : www.dairyhealthmanager.fr
English version: www.dairyhealthmanager.com

Comment citer : https://commons.datacite.org/doi.org/10.17180/npmc-kh96

Niveau de diffusion : PUBLIC

Mots-clés : SIMULATEUR / ELEVAGE / BOVIN LAITIER / ECOMAST / SANTE / MALADIE DE PRODUCTION / DHM / REPRODUCTION / GENETIQUE / PERFORMANCES / IMPACT ECONOMIQUE

cc BY NC ND

Sommaire

1 INTRODUCTION 12

2 ANALYSE FONCTIONNELLE 13

2.1 Généralités 13
2.1.1 Options comportementales du simulateur 14
2.1.1.1 Simulation dynamique avec moteur lié au temps 14
2.1.1.2 Simulation mécaniste avec modélisation par évènements discrets 14
2.1.1.3 Simulation stochastique 14
2.1.1.4 Simulation sur horizon fini 14
2.1.2 Constantes générales pour la simulation 14
2.1.3 Principe de la constitution du troupeau initial 15
2.1.4 Principe des données produites 15

2.2 Modules 15
2.2.1 Reproduction 17
2.2.1.1 Valeurs constantes biologiques et techniques 17
2.2.1.1.1 Survenue des ovulations 17
2.2.1.1.1.1 Age à la puberté 17
2.2.1.1.1.2 Durée des chaleurs 17
2.2.1.1.1.3 Intervalle entre ovulations (cyclicité) 17
2.2.1.1.2 Sensibilité de détection des chaleurs 18
2.2.1.1.2.1 Sensibilité des détections des chaleurs en vue d'une première insémination 18
2.2.1.1.2.2 Sensibilité des détections des chaleurs en vue des inséminations suivantes 18
2.2.1.1.2.3 Critères complémentaires d'influence sur la sensibilité de détection des chaleurs 19
2.2.1.1.2.3.1 Sols glissants 19
2.2.1.1.2.3.2 Chaleurs concomitantes 19
2.2.1.1.2.3.3 Production laitière 19
2.2.1.1.2.3.4 Effet de la boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs 19
2.2.1.1.3 Spécificité de détection des chaleurs 19
2.2.1.1.3.1 Défaut de spécificité après vêlage (ou après mise à la reproduction pour les génisses) et avant la première insémination artificielle 20
2.2.1.1.3.2 Défaut de spécificité lors de retours après IA 20
2.2.1.1.4 Insémination et fertilité 20
2.2.1.1.4.1 Choix des inséminations 20
2.2.1.1.4.2 Fertilité – valeurs de base 21
2.2.1.1.4.3 Vêlages groupés 21
2.2.1.1.4.4 Modulation de la fertilité 21
2.2.1.1.4.4.1 Production laitière 21
2.2.1.1.4.4.2 Potentiel individuel 22
2.2.1.1.4.4.3 Effets de la cétose sur la fertilité 22
2.2.1.1.4.4.4 Effets de la boiterie sur la fertilité 22
2.2.1.1.4.4.5 Surveillance vétérinaire pour les problèmes de fertilité 22
2.2.1.1.5 Surveillance vétérinaire 22
2.2.1.1.6 Gestation 23
2.2.1.1.6.1 Mortalité embryonnaire tardive et avortements 23
2.2.1.1.6.2 Durée de gestation 23
2.2.1.1.6.2.1 Race et parité 24
2.2.1.1.6.2.2 Sexe du veau à naître 24
2.2.1.1.6.2.3 Gestation gémellaire 24
2.2.1.1.7 Reprise de la cyclicité après interruption de gestation et vêlage 24
2.2.1.1.7.1 Cas de l'interruption de gestation 24
2.2.1.1.7.2 Cas du vêlage 25
2.2.1.1.7.3 Traitement en cas de problèmes de reprise de cyclicité 25

2.2.1.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la reproduction 26
2.2.1.2.1 Age de mise à la reproduction 26
2.2.1.2.2 Modes de détection des chaleurs 26
2.2.1.2.3 Sol glissant 26
2.2.1.2.4 Plan d'accouplements 26
2.2.1.2.5 Vêlages groupés 26
2.2.1.2.6 Facteur de fertilité propre au troupeau 27
2.2.1.2.7 Délai post-partum minimum avant la remise à la reproduction (période d'attente) 27
2.2.1.2.8 Décision individuelle d'abandon des inséminations liée à l'infertilité des génisses et des vaches 27
2.2.1.2.9 Contrat Reproduction 27
2.2.1.3 Données produites 28
2.2.1.3.1 Performances de reproduction basées sur les vêlages 28
2.2.1.3.1.1 Primipares 28
2.2.1.3.1.2 Multipares 29
2.2.1.3.2 Performances de reproduction basées sur les inséminations 30
2.2.1.3.2.1 Nullipares 30
2.2.1.3.2.2 Primipares et multipares 31
2.2.1.3.3 Données techniques de reproduction 31
2.2.2 Lactation 33
2.2.2.1 Valeurs constantes biologiques et techniques 33
2.2.2.1.1 Quantité et composition basales du lait, durée de base de la lactation, destination du lait 33
2.2.2.1.1.1 Effet race sur la production laitière cumulée 33
2.2.2.1.1.2 Production journalière selon le stade de lactation 33
2.2.2.1.1.3 Concentration en cellules somatiques du lait en l'absence d'infection 34
2.2.2.1.1.4 Durée de base de la lactation – programmation du tarissement 35
2.2.2.1.1.5 Destination du lait 35
2.2.2.1.2 Modulation de la production laitière 36
2.2.2.1.2.1 Parité 36
2.2.2.1.2.2 Tarissement 36
2.2.2.1.2.3 Gestation 37
2.2.2.1.2.4 Potentiel individuel 37
2.2.2.1.2.5 Œstrus 37
2.2.2.1.2.6 Photopériode 38
2.2.2.1.2.7 Fréquence de traite 38
2.2.2.1.2.8 Concentration de Cellules Somatiques 38
2.2.2.1.2.9 Effet des mammites sur la production laitière 39
2.2.2.1.2.10 Effet de la cétose sur la production laitière 39
2.2.2.1.2.11 Effet des boiteries sur la production laitière 39
2.2.2.1.2.12 Perte d'un quartier 39
2.2.2.1.2.13 Alimentation 39
2.2.2.1.2.14 Aléa journalier 39
2.2.2.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la lactation 39
2.2.2.2.1 Tarissement 40
2.2.2.2.2 Fréquence de traite 40
2.2.2.2.3 Stade de lactation minimum pour le lait livré 40
2.2.2.2.4 Niveau de production du troupeau 40
2.2.2.3 Données produites 40
2.2.2.3.1 Lait livré en laiterie 40
2.2.2.3.2 Lait écarté et jeté 41
2.2.2.3.3 Estimation des performances par le contrôle laitier 41
2.2.2.3.4 Données techniques de production 42
2.2.3 Santé 44
2.2.3.1 Infection Intra-Mammaire (IIM) 44
2.2.3.1.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives aux IIM 44
2.2.3.1.1.1 Description des IIM 44
2.2.3.1.1.1.1 Types d'IIM 44
2.2.3.1.1.1.2 Niveaux de gravité des IIM 44

2.2.3.1.1.1.2.1 Définition des niveaux de gravité des IIM 44
2.2.3.1.1.1.2.2 Répartition des niveaux de gravité selon le type d'IMM et le stade de lactation / gestation des vaches au moment de l'infection 44
2.2.3.1.1.1.3 Conséquences des IIM 45
2.2.3.1.1.1.3.1 Augmentation de la concentration en cellules somatiques 45
2.2.3.1.1.1.3.2 Diminution accrue de la production laitière 46
2.2.3.1.1.1.3.3 Impact sur l'alimentation 46
2.2.3.1.1.1.3.4 Impact des mammites sur la sensibilité aux autres maladies 46
2.2.3.1.1.1.3.5 Mortalité et risque de réforme liés à une gravité G3 47
2.2.3.1.1.2 Incidence des IIM 47
2.2.3.1.1.2.1 Périodes à risque 48
2.2.3.1.1.2.2 Modulation du risque d'incidence 49
2.2.3.1.1.2.2.1 Modulation individuelle du risque d'incidence 49
2.2.3.1.1.2.2.2 Modulation du risque d'incidence liée à la conduite du troupeau 51
2.2.3.1.1.3 Détection des IIM 52
2.2.3.1.1.4 Evolution et guérison 52
2.2.3.1.1.4.1 Guérison spontanée 52
2.2.3.1.1.4.1.1 Guérison spontanée de base 52
2.2.3.1.1.4.1.2 Guérison induite par la guérison d'une nouvelle infection sur le quartier 53
2.2.3.1.1.4.2 Aggravation d'une mammite 53
2.2.3.1.1.4.2.1 Récurrence clinique d'une infection subclinique persistante 53
2.2.3.1.1.4.2.2 Aggravation d'une mammite clinique non détectée 54
2.2.3.1.1.4.3 Guérison suite aux traitements 54
2.2.3.1.1.4.4 Rechutes 54
2.2.3.1.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs aux IIM 54
2.2.3.1.2.1 Sensibilité de détection des mammites cliniques de faible gravité 54
2.2.3.1.2.2 Impact saisonnier sur l'incidence des IIM 55
2.2.3.1.2.3 Part du type de bactérie dans l'incidence 55
2.2.3.1.2.4 Plan de traitement 55
2.2.3.1.2.5 Facteur de prévention des mammites au niveau de la vache 56
2.2.3.1.2.6 Facteur de prévention des mammites au niveau du troupeau 56
2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires 57
2.2.3.1.3 Données spécifiques produites relatives aux IIM 57
2.2.3.2 Cétose (ou acétonémie) 58
2.2.3.2.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la cétose 58
2.2.3.2.1.1 Description de la cétose 58
2.2.3.2.1.1.1 Niveaux de gravité de la cétose 58
2.2.3.2.1.1.2 Conséquences zootechniques d'une cétose 58
2.2.3.2.1.1.2.1 Effet d'une cétose sur les performances de reproduction 58
2.2.3.2.1.1.2.2 Effet d'une cétose sur les performances de production laitière 59
2.2.3.2.1.1.2.3 Impact sur l'alimentation 60
2.2.3.2.1.1.2.4 Effet d'une cétose sur la sensibilité aux autres maladies 60
2.2.3.2.1.1.2.5 Réforme et mortalité liées à une cétose 60
2.2.3.2.1.2 Incidence 60
2.2.3.2.1.2.1 Incidence de base 61
2.2.3.2.1.2.2 Modulation du risque d'incidence 61
2.2.3.2.1.2.2.1 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la génétique 61
2.2.3.2.1.2.2.2 Modulation de l'incidence de la cétose liée au rang de lactation 62
2.2.3.2.1.2.2.3 Modulation de l'incidence de la cétose liée au niveau de production 62
2.2.3.2.1.2.2.4 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la saison 62
2.2.3.2.1.2.2.5 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie 62
2.2.3.2.1.2.2.6 Modulation de l'incidence de la cétose, chez les multipares, liée à la durée de la lactation précédente 62
2.2.3.2.1.2.2.7 Modulation de l'incidence de la cétose, chez les primipares, liée à l'âge au premier vêlage 63
2.2.3.2.1.2.2.8 Modulation de l'incidence de la cétose l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®) 63

2.2.3.2.1.3 Détection des cas de cétose 63
2.2.3.2.1.3.1 Cétose subclinique 63
2.2.3.2.1.3.1.1 Cetodetect ® 63
2.2.3.2.1.3.1.2 Herd Navigator ® 64
2.2.3.2.1.3.1.3 Prise de sang 64
2.2.3.2.1.3.2 Cétose clinique (détectée) 64
2.2.3.2.1.4 Evolution et guérison d'une cétose 64
2.2.3.2.1.4.1 Durée d'une cétose 65
2.2.3.2.1.4.2 Aggravation d'un épisode de cétose subclinique 65
2.2.3.2.1.4.3 Détection d'un cas de cétose clinique, traitement 65
2.2.3.2.1.4.4 Récidive d'une cétose 65
2.2.3.2.2 Paramètres de conduite d'élevage relatif à la cétose 65
2.2.3.2.2.1 Facteurs de prévention 65
2.2.3.2.2.1.1 Facteur global de prévention 65
2.2.3.2.2.1.2 Prévention par l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®) 66
2.2.3.2.2.2 Options de détection 66
2.2.3.2.2.2.1 Option Cetodetect ® du contrôle laitier 66
2.2.3.2.2.2.2 Option Herd Navigator ® du robot de traite 66
2.2.3.2.2.3 Plan de traitement 66
2.2.3.2.3 Données spécifiques produites relatives à la cétose 67
2.2.3.3 Boiterie 69
2.2.3.3.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la boiterie 69
2.2.3.3.1.1 Description de la boiterie 69
2.2.3.3.1.1.1 Types de boiteries 69
2.2.3.3.1.1.2 Niveaux de gravité de la boiterie 69
2.2.3.3.1.1.3 Conséquences zootechniques d'une boiterie 70
2.2.3.3.1.1.3.1 Effet d'une boiterie sur les performances de reproduction 70
2.2.3.3.1.1.3.2 Effet d'une boiterie sur les performances de production laitière 70
2.2.3.3.1.1.3.3 Effets d'une boiterie sur l'alimentation 71
2.2.3.3.1.1.3.4 Effet d'une boiterie sur la sensibilité aux autres maladies 71
2.2.3.3.1.1.3.5 Réforme et mortalité liées à une boiterie 71
2.2.3.3.1.2 Incidence 71
2.2.3.3.1.2.1 Incidence de base 72
2.2.3.3.1.2.2 Modulation du risque d'incidence 72
2.2.3.3.1.2.2.1 Modulation individuelle du risque d'incidence 72
2.2.3.3.1.2.2.2 Modulation du risque d'incidence liée à la conduite du troupeau 73
2.2.3.3.1.3 Détection des cas de boiterie 76
2.2.3.3.1.4 Evolution et guérison d'une boiterie 76
2.2.3.3.1.4.1 Durée des boiteries 77
2.2.3.3.1.4.2 Aggravation d'un épisode de boiterie 77
2.2.3.3.1.4.3 Récidive d'une boiterie 77
2.2.3.3.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la boiterie 77
2.2.3.3.2.1 Facteurs de prévention 77
2.2.3.3.2.1.1 Facteurs globaux de prévention 77
2.2.3.3.2.1.2 Option de prévention des boiteries infectieuses par l'utilisation du pédiluve 78
2.2.3.3.2.1.3 Option de fréquence d'utilisation du pédiluve 78
2.2.3.3.2.1.4 Option de prévention des boiteries infectieuses et non infectieuses par le parage 78
2.2.3.3.2.2 Options de détection 78
2.2.3.3.2.3 Regroupement des parages et des cas individuels de boiterie à traiter 79
2.2.3.3.2.4 Plan de traitement 79
2.2.3.3.3 Données spécifiques produites relatives à la boiterie 79
2.2.3.4 Gastro-entérite néonatale infectieuse (GENNI) 81
2.2.3.4.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives aux GENNI 81
2.2.3.4.1.1 Description des GENNI 81
2.2.3.4.1.1.1 Types de GENNI 81
2.2.3.4.1.1.2 Niveaux de gravité des GENNI 81
2.2.3.4.1.1.2.1 Définition des niveaux de gravité 81

2.2.3.4.1.1.2.2 Répartition des niveaux de gravité selon le type de GENNI 81
2.2.3.4.1.1.3 Conséquences des GENNI 82
2.2.3.4.1.1.3.1 Retard de la vente du veau 82
2.2.3.4.1.1.3.2 Diminution de la croissance moyenne 82
2.2.3.4.1.1.3.3 Diminution de la production laitière à la première lactation 82
2.2.3.4.1.1.3.4 Mortalité 82
2.2.3.4.1.2 Incidence des GENNI 83
2.2.3.4.1.2.1 Périodes à risque 84
2.2.3.4.1.2.2 Modulation de l'incidence 84
2.2.3.4.1.2.2.1 Modulation individuelle : Parité de la mère 84
2.2.3.4.1.2.2.2 Modulation troupeau 84
2.2.3.4.1.3 Détection des GENNI 87
2.2.3.4.1.4 Evolution et guérison 87
2.2.3.4.1.4.1 Guérison spontanée 87
2.2.3.4.1.4.2 Durée d'une GENNI 87
2.2.3.4.1.4.3 Aggravation d'une GENNI 88
2.2.3.4.1.4.4 Traitements 88
2.2.3.4.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs aux GENNI 89
2.2.3.4.2.1 Sensibilité de la détection des GENNI de faible gravité 89
2.2.3.4.2.2 Part du type de chaque type d'agents pathogènes dans l'incidence 89
2.2.3.4.2.3 Contrôle de la qualité du colostrum et de la gestion de la colostrothèque 89
2.2.3.4.2.4 Temps passé pour le colostrum et quantité reçue 89
2.2.3.4.2.5 Proportion de veaux recevant du colostrum 89
2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes 89
2.2.3.4.2.7 Position de la case 90
2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène 90
2.2.3.4.2.9 Plan de traitement 90
2.2.3.4.2.10 Facteur global de prévention des GENNI 91
2.2.3.4.3 Données spécifiques produites relatives aux GENNI 91
2.2.3.5 Paratuberculose 92
2.2.3.5.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la paratuberculose 92
2.2.3.5.1.1 Description de la paratuberculose 92
2.2.3.5.1.1.1 Stades d'infection 92
2.2.3.5.1.1.1.1 Sensible (S) 92
2.2.3.5.1.1.1.2 Réfractaire (R) 92
2.2.3.5.1.1.1.3 Infecté transitoire (IT) 92
2.2.3.5.1.1.1.4 Infecté latent (IL) 92
2.2.3.5.1.1.1.5 Infecté subclinique (IM) 93
2.2.3.5.1.1.1.6 Infecté clinique (IC) 93
2.2.3.5.1.1.2 Conséquences de la paratuberculose 93
2.2.3.5.1.1.2.1 Augmentation de la réforme 93
2.2.3.5.1.1.2.2 Diminution accrue de la production laitière 93
2.2.3.5.1.1.2.3 Impact sur la valeur à l'abattage 94
2.2.3.5.1.1.2.4 Impact sur la sensibilité aux autres maladies 94
2.2.3.5.1.1.2.5 Mortalité et risque de réforme 94
2.2.3.5.1.2 Quantité de MAP 94
2.2.3.5.1.2.1 Contribution individuelle (excrétion) 95
2.2.3.5.1.2.2 Destruction spontanée (μ) 95
2.2.3.5.1.3 Incidence de la paratuberculose 95
2.2.3.5.1.3.1 Voies de contamination et périodes à risque 96
2.2.3.5.1.3.1.1 Voie oro-fécale 96
2.2.3.5.1.3.1.2 Voie in utéro 96
2.2.3.5.1.3.1.3 Voie via le lait et le colostrum 97
2.2.3.5.1.3.1.4 Transmission directe veau à veau 97
2.2.3.5.1.3.2 Modulation du risque d'incidence 97
2.2.3.5.1.3.2.1 Modulation liée à la génétique 97
2.2.3.5.1.3.2.2 Modulation liée à la conduite de l'élevage 97
2.2.3.5.1.3.2.3 Impact saisonnier sur l'incidence 97

2.2.3.5.1.3.2.4 Contrat de soins vétérinaires 97
2.2.3.5.1.3.3 Calibrage 98
2.2.3.5.1.4 Détection des cas de paratuberculose 98
2.2.3.5.1.4.1 Description des tests utilisés 98
2.2.3.5.1.4.1.1 Test ELISA sérique 98
2.2.3.5.1.4.1.2 Test PCR fécale 98
2.2.3.5.1.4.2 Utilisation pratique des tests 98
2.2.3.5.1.4.2.1 Stratégie de test des vaches cliniques 99
2.2.3.5.1.4.2.2 Stratégie de dépistage régulier 99
2.2.3.5.1.4.2.3 Stratégie de dépistage régulier et espacés 99
2.2.3.5.1.5 Evolution et guérison de la paratuberculose 99
2.2.3.5.1.5.1 Guérison spontanée 100
2.2.3.5.1.5.2 Aggravation d'une infection 100
2.2.3.5.1.5.3 Guérison à la suite des traitements 100
2.2.3.5.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la paratuberculose 100
2.2.3.5.2.1 Apparition de cas de paratuberculose 100
2.2.3.5.2.2 Hygiène 100
2.2.3.5.2.3 Génotypage 100
2.2.3.5.2.4 Stratégie de test 100
2.2.3.5.3 Données produites relatives à la paratuberculose 100
2.2.3.6 Données générales de santé produites 102
2.2.4 Génétique 106
2.2.4.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la génétique 106
2.2.4.1.1 Valeurs génétiques associées à un trait phénotypique 106
2.2.4.1.1.1 Critères communs des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques 106
2.2.4.1.1.2 Critères des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques dépendant des races . 107
2.2.4.1.2 Valeur génétique individuelle 107
2.2.4.1.2.1 Valeur génétique vraie 107
2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte 107
2.2.4.1.3 Valeur génétique des taureaux destinés aux inséminations (ou saillies) 109
2.2.4.1.3.1 Catalogue des valeurs génétiques « taureaux » 109
2.2.4.1.3.2 Progrès génétique annuel 109
2.2.4.1.4 Valeur génétique des veaux nés d'une mère et d'un père identifiés 109
2.2.4.1.4.1 Hérédité 110
2.2.4.1.4.2 Aléa de méiose 110
2.2.4.1.4.3 Hétérosis 110
2.2.4.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la génétique 110
2.2.4.2.1 Caractéristiques des taureaux laitiers en vue de la constitution du catalogue pour les inséminations et saillies 110
2.2.4.2.2 Stratégie génétique 111
2.2.4.3 Données produites 111
2.2.5 Gestion de la population et des lots 112
2.2.5.1 Valeurs constantes biologiques et techniques 112
2.2.5.1.1 Population du troupeau 112
2.2.5.1.1.1 Montée en puissance 112
2.2.5.1.1.2 Régulation de l'effectif 112
2.2.5.1.1.2.1 Vente des veaux femelles 112
2.2.5.1.1.2.2 Vente des génisses et réforme des vaches adultes 112
2.2.5.1.1.2.2.1 Décision de ne plus inséminer 112
2.2.5.1.1.2.2.2 Réforme en vue de la régulation de l'effectif 113
2.2.5.1.1.2.2.3 Vente de génisses amouillantes 113
2.2.5.1.1.2.3 Achat de génisses 113
2.2.5.1.1.3 Mortalité 114
2.2.5.1.2 Gestion de lots 114
2.2.5.1.2.1 Affectation 114
2.2.5.1.2.2 Stabulation/pâturage 116
2.2.5.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la population et aux lots 116
2.2.5.2.1 Population 116

2.2.5.2.1.1 Race initiale des vaches ... 116
2.2.5.2.1.2 Nombre moyen de vaches adultes ... 116
2.2.5.2.1.3 Taux de renouvellement annuel du troupeau ... 116
2.2.5.2.1.4 Stratégie de gestion des veaux femelles ... 116
2.2.5.2.1.5 Lactation maximale ... 117
2.2.5.2.1.6 Performance de production de la vache par rapport à celle du troupeau ... 117
2.2.5.2.1.7 Seuil de CCS ... 117
2.2.5.2.1.8 Seuil de rentabilité de la production laitière ... 117
2.2.5.2.2 Gestion des lots ... 117
2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage ... 117
2.2.5.2.2.2 Aire paillée ... 118
2.2.5.3 Données produites relatives à la gestion de la population ... 118
2.2.6 Alimentation ... 120
2.2.6.1 Valeurs constantes biologiques et techniques ... 120
2.2.6.1.1 Rations ... 120
2.2.6.1.2 Féces produites ... 120
2.2.6.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à l'alimentation ... 120
2.2.6.2.1 Rations d'équilibre ... 121
2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux non sevrés ... 121
2.2.6.2.1.2 Alimentation des veaux femelles sevrés ... 121
2.2.6.2.1.3 Alimentation des génisses ... 121
2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation ... 122
2.2.6.2.1.5 Alimentation des vaches taries ... 122
2.2.6.2.2 Rations de concentré de production ... 122
2.2.6.3 Données produites ... 122
2.2.6.3.1 Consommation de lait, de concentré et de minéraux et vitamines par les veaux ... 122
2.2.6.3.2 Consommation de fourrage, de concentré et de minéraux et vitamines par les génisses ... 123
2.2.6.3.3 Consommation de fourrage, de concentré et de minéraux et vitamines par les vaches ... 123
2.2.7 Comptabilité ... 125
2.2.7.1 Paramètres comptables ... 125
2.2.7.1.1 Reproduction ... 125
2.2.7.1.2 Production ... 125
2.2.7.1.3 Santé ... 127
2.2.7.1.4 Génétique ... 129
2.2.7.1.5 Population ... 129
2.2.7.1.6 Alimentation ... 129
2.2.7.1.7 Autres éléments comptables ... 130
2.2.7.2 Données produites ... 130

3 MODALITES TECHNIQUES D'EMPLOI DU SIMULATEUR ... 132

3.1 Principe général de mise en œuvre du simulateur ... 132
3.1.1 Création des élevages ... 132
3.1.2 Création des modèles comptables ... 132
3.1.3 Création des protocoles de simulation ... 132
3.1.3.1 Protocoles simples ... 132
3.1.3.2 Protocoles croisés ... 133
3.1.4 Lancement de la simulation et obtention des résultats ... 133

3.2 Déclinaisons du simulateur ... 133
3.2.1 Application Programming Interface (API) ... 133
3.2.1.1 Commandes relatives aux élevages ... 134
3.2.1.1.1 Création d'un élevage ... 134
3.2.1.1.2 Renommage d'un élevage ... 134
3.2.1.1.3 Obtention de la liste des élevages ... 134
3.2.1.1.4 Récupération des paramètres d'un élevage ... 135
3.2.1.1.5 Modification des paramètres d'un élevage ... 135

3.2.1.1.6 Duplication d'un élevage ... 136
3.2.1.1.7 Suppression d'un élevage ... 136
3.2.1.2 Commandes relatives aux protocoles de simulation ... 136
3.2.1.2.1 Création d'un protocole ... 136
3.2.1.2.2 Renommage d'un protocole ... 136
3.2.1.2.3 Obtention de la liste des protocoles ... 137
3.2.1.2.4 Récupération des paramètres d'un protocole ... 137
3.2.1.2.5 Modification des paramètres d'un protocole ... 137
3.2.1.2.6 Suppression d'un protocole ... 138
3.2.1.2.7 Gestion des paramètres croisés d'un protocole ... 138
3.2.1.2.7.1 Ajout d'une liste de valeurs de paramètre d'élevage à croiser ... 138
3.2.1.2.7.2 Suppression d'une liste de valeurs de paramètre d'élevage à croiser ... 138
3.2.1.2.7.3 Modification du nom d'entête des discriminants ... 139
3.2.1.2.7.4 Obtention du nom d'entête des discriminants ... 139
3.2.1.3 Valeurs de référence ... 139
3.2.1.4 Restauration d'anciennes valeurs ... 140
3.2.1.5 Commande de lancement des simulations ... 140
3.2.1.6 Commande d'obtention des derniers résultats synthétisés de simulation ... 141
3.2.1.7 Commande d'obtention des derniers résultats bruts de simulation ... 141
3.2.1.8 Codes de messages ... 142
3.2.2 Application WEB ... 142
3.2.2.1 Création et paramétrage d'un élevage ... 142
3.2.2.2 Création et paramétrage d'un protocole de simulation ... 143
3.2.2.3 Lancement de la simulation ... 145
3.2.2.4 Gestion des utilisateurs ... 146
3.2.3 Application standalone ... 147
3.2.4 Package R ... 147
3.2.4.1 Installation du package R ... 147
3.2.4.2 Mise en œuvre du package R ... 147
3.2.4.2.1 Création des élevages avec le package R ... 147
3.2.4.2.2 Création des modèles comptables avec le package R ... 148
3.2.4.2.3 Création des protocoles avec le package R ... 148
3.2.4.2.4 Lancement de la simulation avec le package R ... 149
3.2.4.2.5 Récupération des résultats avec le package R ... 149

3.3 Structure des résultats ... 150

3.4 Analyse de sensibilité ... 151

3.5 Caractéristiques techniques ... 151

4 REMERCIEMENTS ... 152

5 SOURCES DOCUMENTAIRES ... 153

6 TABLEAUX ... 162

7 FIGURES ... 167

ANNEXE I : LISTE DES CLES ET FORMATS DES PARAMETRES DE CONDUITE D'ELEVAGE ... 169

ANNEXE II : LISTE DES CLES DE PARAMETRES DU MODELE COMPTABLE ... 175

ANNEXE III : EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE DU PACKAGE R..... 178

1 Introduction

Dans le cadre de ses travaux de recherche propres ou en partenariat ONIRIS-INRAE, l'UMR BIOEPAR exploitait le simulateur « ECOMAST » de première génération développé en interne et initié lors de la thèse traitant de l'« Evaluation ex-ante de l'efficacité économique des programmes de maitrise des infections intra mammaires en élevage bovin laitier » (Hortet, 2000). Ce simulateur dédié à la conduite de troupeaux laitiers et à l'impact technique et économique des mammites avait été conçu sous la forme de base de données associée à une partie moteur de simulation qui mettait en œuvre les traitements.

Son redéveloppement a été décidé en 2015 en s'orientant d'emblée vers un système multi-agents flexible (Gontier, Bareille et Picault, 2022) basé sur l'analyse fonctionnelle de la version précédente, réactualisée, un modèle conceptuel générique et ouvert conçu selon une méthodologie agile s'inspirant d'« XP », et la pleine exploitation de la performance des derniers langages et outils de programmation.

L'objectif du développement de ce simulateur est de pouvoir comparer des stratégies de maîtrise des troubles de santé et de la reproduction sévissant dans un troupeau bovin laitier, en termes de fréquence de maladies, de consommation d'intrants, de performances animales et de résultats technico-économiques de l'atelier bovin laitier.

Le présent document, découpé en deux chapitres principaux, a pour objectif de présenter l'analyse fonctionnelle destinée à décrire les contraintes techniques et biologiques de la conduite d'élevage prises en compte dans les simulations, et les modalités techniques d'emploi du simulateur.

2 Analyse fonctionnelle

Cette partie du document est consacrée à la description des données et traitements liés aux besoins fonctionnels de simulation. Elle permet de mettre en adéquation l'expression du besoin de l'utilisateur/chercheur et la solution de simulation mise en place pour y répondre.

S'appuyant sur les publications récentes et tenant compte des avis d'expert, le simulateur a vocation à prendre en compte tous les domaines d'intérêt intervenant dans la vie du troupeau et dans son management. Ces domaines, structurés sous la forme de modules, font chacun l'objet d'un chapitre.

La partie « Généralités » permet de définir les aspects transverses et communs à chacun de ces modules. Enfin, la dernière partie de ce chapitre décrit les moyens dont dispose l'utilisateur pour paramétrer ses scénarios.

2.1 Généralités

Le simulateur « Dairy Health Manager » (DHM) a été conçu afin de simuler un troupeau de bovins laitiers dans un contexte particulier d'exploitation agricole. Seul l'atelier de production laitière est considéré dans le simulateur avec pour hypothèse que l'éleveur définisse la taille de son cheptel en fonction de ses objectifs de production et de ses contraintes structurelles. Développé sur la base d'un modèle individu-centré, il présente l'intérêt de représenter finement le troupeau en permettant notamment d'intégrer la diversité des individus et la variabilité de leurs réponses biologiques.

Dans ce cadre, le simulateur permet de prendre en compte les différences et la variabilité génétique intra et inter races liées au croisement. Il permet également d'envisager la représentation d'une interaction décision-caractéristiques individuelles, comme par exemple le choix des races d'insémination et les critères de réforme. La modélisation a pour objectif de représenter les processus biologiques et ceux plus techniques liés à la prise de décision de l'éleveur.

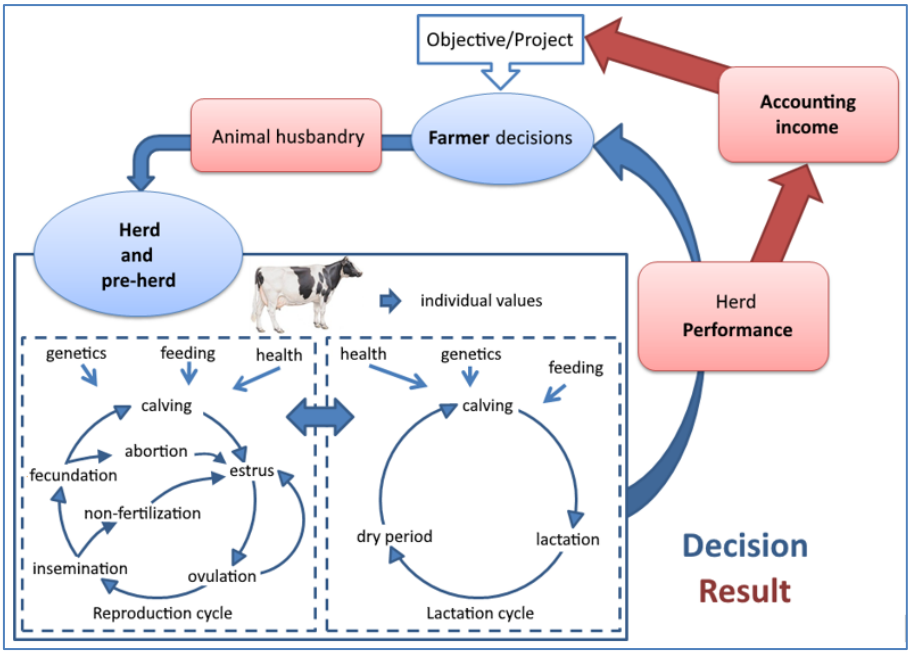


Figure 1 : Processus biologiques et décisions de l'éleveur représentés dans le simulateur

Avant de détailler les données et traitements liés au développement des différents modules, il est nécessaire de définir leurs aspects communs que sont les options comportementales du simulateur, les données constantes ainsi que leurs types lorsqu'ils sont spécifiques, le principe de la génération des individus du troupeau laitier à simuler, et la méthode de production des données résultats.

2.1.1 Options comportementales du simulateur

Le simulateur DHM met en œuvre les options comportementales de la simulation dynamique avec moteur lié au temps, de la simulation mécaniste avec modélisation par évènements discrets et de la simulation stochastique (Hortet, 2000). Il agit sur horizon fini.

2.1.1.1 Simulation dynamique avec moteur lié au temps

La simulation dynamique repose sur la modélisation du moment de survenue des évènements qui génèrent les modifications de la valeur des attributs au fur et à mesure de son avancement. Dans notre cas, elle permet de réaliser les traitements au pas de temps défini à 1 jour.

2.1.1.2 Simulation mécaniste avec modélisation par évènements discrets

L'unité élémentaire de simulation est l'animal aux différentes étapes de sa vie (de sa naissance à sa vente/mort) et est représentée informatiquement par un ensemble d'attributs.

Le résultat de la simulation est construit par reproduction des étapes des mécanismes impliqués dans le cycle biologique des individus et, notamment, lors de la survenue d'évènements discrets (par exemple les évènements de reproduction et de santé, processus de production laitière du troupeau à la journée). L'évolution de la valeur des attributs dépend ainsi de la survenue des événements simulés (par exemple, le déclenchement d'une gestation ou la survenue d'une infection intra mammaire) ou bien correspond à une incrémentation (par exemple, les stades de lactation, de gestation et le tarissement).

2.1.1.3 Simulation stochastique

Renouvelée avec les mêmes paramètres d'entrée, la simulation ne produit pas nécessairement les mêmes résultats. En effet, le simulateur s'appuyant sur des règles de probabilité et de variabilité décrites dans les chapitres qui suivent, les simulations lancées successivement ne délivreront pas les mêmes résultats.

2.1.1.4 Simulation sur horizon fini

L'intérêt du simulateur est de pouvoir comparer, tant sur le plan technique que comptable (voire économique), la phase de transition entre les situations initiales et finales et non simplement de comparer deux états statiques. C'est pour cela que la période de simulation est définie sur un espace de temps fini.

2.1.2 Constantes générales pour la simulation

Les valeurs constantes générales regroupent les données communes du simulateur, en dehors des modules spécialisés touchant à des domaines particuliers (décrit au paragraphe *2.2 Modules* page 15). Par définition, ces valeurs ne sont pas modifiables. Leur remise en question nécessiterait une évolution du simulateur.

Les races mises en œuvre dans le simulateur sont au nombre de trois laitières et de trois allaitantes :

Laitières	Montbéliarde
	Normande
	Prim'Holstein
Allaitantes	Blanc bleue belge
	Charolaise
	Limousine

Tableau 1 : Races mises en œuvre

Les races allaitantes ne sont utilisées dans le simulateur que dans le cadre des inséminations, et de leurs produits vendus rapidement après la naissance.

La mamelle d'une vache est composée de 4 quartiers gérés individuellement.

2.1.3 Principe de la constitution du troupeau initial

Lorsque la simulation est lancée, une pré-simulation est réalisée partant d'une situation où le troupeau ne dispose pas encore de vaches, lesquelles sont achetées progressivement, à un rythme qui permettra ensuite une régulation de l'effectif à la hauteur du paramétrage de renouvellement défini par l'utilisateur.

Cette gestion est décrite dans le module Gestion de la population et des lots (*cf.* § *2.2.5*)

2.1.4 Principe des données produites

Quel que soit le module concerné, les données sont produites de manière régulière (quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles et annuelles au titre de la campagne considérée) ou ponctuelle (enregistrement des actions/évènements lorsqu'ils interviennent). Elles sont fournies en fin de simulation sous la forme de « tables » résultats, disponibles à partir de fichiers « csv » pour la version standalone, avec « ; » pour séparateur de champs et « , » pour séparateur décimal, ils se trouvent dans le répertoire désigné comme celui des résultats, décrits dans le chapitre *3.3 Structure des résultats*. Pour le package R, les résultats sont fournis sous la forme d'une « dataframe ».

Ainsi, à partir de ces données brutes, toutes les analyses nécessaires seront possibles nativement avec un logiciel comme « R » par exemple.

Outre les formats de données standard utilisés (integer, float, bool, ...), les données typées produites respectent le format décrit dans le tableau ci-dessous :

Nom du format	Principe de valorisation
Campaign	Exprimée de la forme `<année de début d'exercice au format AAAA>-<année de fin d'exercice au format AAAA>`, le tout basé sur la date de début de la simulation. Si l'exercice début en janvier, la campagne est exprimée sous la forme `<année d'exercice au format AAAA>`
Date	Exprimée de la forme `<AAAA-MM-JJ>`
Race	Valeurs possibles : - 0 : Montbéliarde, - 1 : Normande, - 2 : Prim'holstein, - 3 : Blanc bleue belge, - 4 : Charolaise, - 5 : Limousine.
Type d'insémination	Valeurs possibles : - 0 : Naturelle (saillie), - 1 : Insémination artificielle conventionnelle, - 2 : Insémination artificielle sexée mâle, - 3 : Insémination artificielle sexée femelle.
Statut d'infection	Valeurs possibles : - G0 : Sain, - G1S : G1 subclinique - G1C : G1 clinique, - G2 : G2

Tableau 2 : Formats des données typées

2.2 Modules

Les fonctions biologiques et techniques/décisionnelles sont différenciées dans le simulateur. Elles sont décrites et programmées sous la forme de 7 modules interdépendants.

Ces modules sont les suivants :

- Reproduction,
- Lactation,
- Santé,
- Génétique,
- Gestion de la population et des lots,

- Alimentation,
- Comptabilité.

Ils interagissent de la manière suivante :

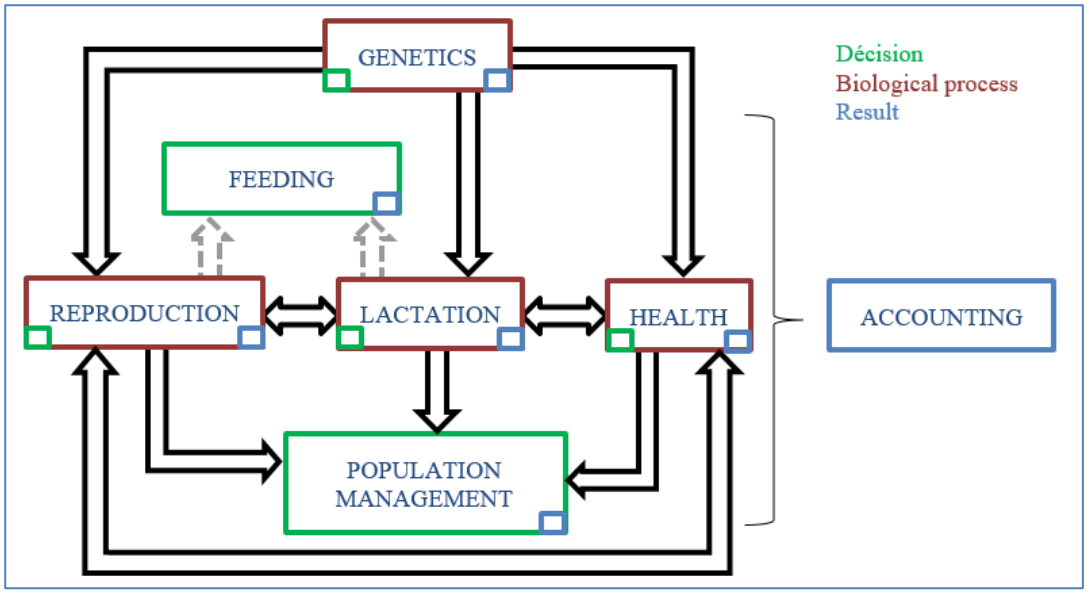


Figure 2 : Schéma de l'organisation en modules et représentation des interactions

Les effets biologiques de la reproduction et de la lactation sur l'alimentation ne sont pas simulés dans l'état actuel du logiciel, seule la connaissance des rations à distribuer permet de définir les paramètres de l'alimentation des vaches au regard de l'objectif attendu de production. Le module « Comptabilité » fournit la synthèse de tous les actes comptables réalisés au cours de la simulation.

Les chapitres suivants décrivent, pour chaque module, les valeurs constantes biologiques et techniques mises en œuvre pour le domaine concerné, les valeurs d'attributs des animaux qui pourront évoluer au fur et à mesure de la simulation, les paramètres de conduite (décision) qui sont proposés à l'utilisateur le cas échéant, lequel pourra ainsi composer les scénarios souhaités, et enfin les données spécifiques qui seront produites en fin de simulation.

Si la plupart des données décrites dans les lignes qui suivent sont tirées de publications référencées, celles ne présentant aucune référence sont des estimations basées sur les avis d'experts, sur des valeurs figurant déjà dans le simulateur « ECOMAST » (Billon, 2015), et de tâtonnements pour la calibration des phénomènes non observables.

Ces données sont en général des bases. Elles sont établies par l'effet troupeau (phénomènes non représentés dans le simulateur) qui s'applique à toutes les vaches de façon uniforme, et sont pondérées par des évènements individuels (identifiés et décrits) intervenant tout au long de la simulation.

2.2.1 Reproduction

Ce module intègre tous les aspects mis en œuvre pour simuler la capacité des animaux à se reproduire. Si ces phénomènes dépendent fortement de contraintes biologiques, ils sont dirigés par des décisions de l'éleveur.

2.2.1.1 Valeurs constantes biologiques et techniques

Les valeurs constantes appliquées dans le cadre des simulations et touchant à la reproduction concernent les ovulations, leur détection, les inséminations, les gestations et la reprise de cyclicité.

Le simulateur différencie les étapes de la reproduction des vaches de la manière suivante :

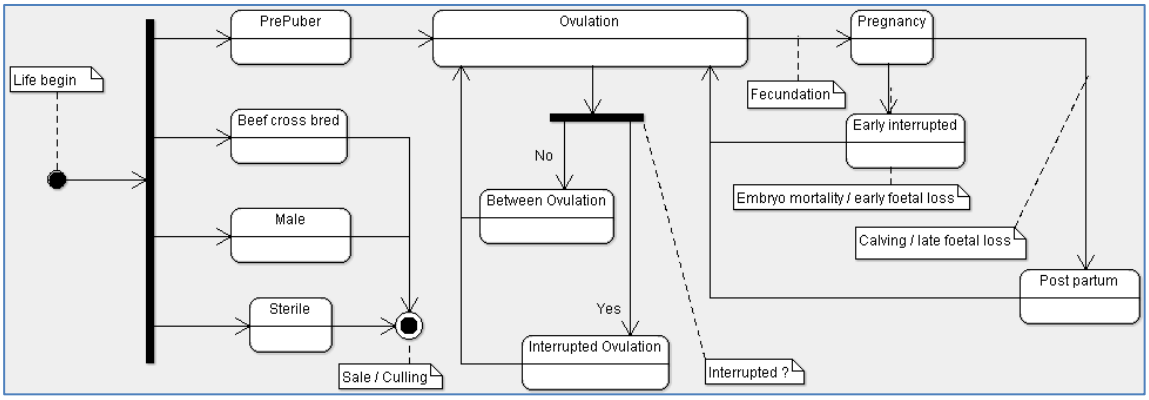


Figure 3 : Etapes de reproduction

Les veaux croisés avec une race allaitante, les veaux mâles et les veaux femelles stériles ne sont pas conservés dans le troupeau (*cf.* § *2.2.5.1.2.1* Affectation).

2.2.1.1.1 Survenue des ovulations

Les ovulations surviennent dès l'âge défini comme étant celui de la puberté. Apparaissant lors de cycles pouvant être irréguliers, elles occasionnent les chaleurs.

2.2.1.1.1.1 Age à la puberté

L'âge à la puberté des femelles de race laitière se situe entre 6 et 15 mois (donc à 300 jours en moyenne), quelle que soit la race (Bareille *et al.*, 2016). La valeur fixe retenue est donc de 300 jours.

2.2.1.1.1.2 Durée des chaleurs

La durée des chaleurs de la vache laitière étant comprise entre 8 et 23 heures (Kerbrat et Disenhaus, 2004), la valeur retenue pour la simulation a été fixée à 1 jour.

2.2.1.1.1.3 Intervalle entre ovulations (cyclicité)

Ce critère n'est pas lié à la race (Bareille *et al.*, 2016). Les valeurs employées sont les suivantes (Hagen et Gayrard, 2005) :

	Nombre moyen de jours
Génisses	20j
Vaches	21j

Tableau 3 : Nombre de jours entre ovulations

L'écart type utilisé est d'un jour.

Ces valeurs sont une base. Divers évènements, décrits ci-après, peuvent en modifier la durée.

2.2.1.1.2 Sensibilité de détection des chaleurs

La sensibilité est l'aptitude à détecter les vaches effectivement en chaleur (Chanvallon *et al.*, 2011).

Le pourcentage de probabilité de détection mis en œuvre englobe les caractéristiques pouvant être liées à l'expressivité par la vache et à la sensibilité de détection par l'éleveur (Disenhaus *et al.*, 2010). Il varie selon :

- la race,
- le mode de détection,
- la parité,
- le rang d'ovulation,
- le rang d'insémination (intégrant les défauts de spécificité après vêlage et lors des retours d'insémination).

La sensibilité de détection des chaleurs peut également être influencée par des cas de boiteries.

Deux catégories sont à différencier : les sensibilités de détection pour la première insémination, et celles liées aux retours d'insémination.

2.2.1.1.2.1 Sensibilité des détections des chaleurs en vue d'une première insémination

Le tableau suivant permet d'estimer la probabilité d'une détection des chaleurs en vue d'une première insémination.

	Mode de détection	Génisses	Primipares			Multipares		
		Toutes ovulations	1ère ovulation	2nde ovulation	Ovulations suivantes	1ère ovulation	2nde ovulation	Ovulations suivantes
Montbéliarde	Capteur embarqué	90%	80%	82%	84%	82%	85%	88%
	Eleveur	60%	50%	52%	54%	52%	54%	58%
	Robot	80%	70%	72%	74%	72%	75%	78%
	Taureau (*)	100%						
Normande	Capteur embarqué	90%	80%	82%	84%	82%	85%	88%
	Eleveur	60%	50%	52%	54%	52%	54%	58%
	Robot	80%	70%	72%	74%	72%	75%	78%
	Taureau (*)	100%						
Prim'Holstein	Capteur embarqué	85%	75%	77%	79%	77%	79%	81%
	Eleveur	55%	45%	47%	49%	47%	49%	51%
	Robot	75%	65%	67%	69%	67%	69%	71%
	Taureau (*)	100%						

Tableau 4 : Sensibilité des détections des chaleurs en vue d'une première insémination

(*) considéré comme étant dans le lot des femelles.

Ces valeurs ont été estimées sur la base de celles mises en œuvre par le simulateur « ECOMAST ».

Remarque : si les premières chaleurs ne sont pas observées dans les 100 jours après la (re)mise à la reproduction (délai réduit en cas de absence de contrat vétérinaire de reproduction), un traitement pour chaleurs non détectées est prodigué à la vache (voir traitement du cas « c » dans le *Tableau 17 : Plan de traitement vétérinaire au titre du contrat reproduction*).

2.2.1.1.2.2 Sensibilité des détections des chaleurs en vue des inséminations suivantes

La sensibilité peut être différente selon le rang d'insémination. Le tableau suivant établit les probabilités correspondantes :

	Mode de détection	Génisses	Primipares		Multipares	
		Tous retours	1er retour	2nd retour	1er retour	2nd retour
Montbéliarde	Capteur embarqué	90%	84%	84%	88%	88%
	Eleveur	60%	64%	59%	68%	63%
	Robot	80%	74%	74%	78%	78%
	Taureau (*)	100%				
Normande	Capteur embarqué	90%	84%	84%	88%	88%
	Eleveur	60%	64%	59%	68%	63%
	Robot	80%	74%	74%	78%	78%
	Taureau (*)	100%				
Prim'Holstein	Capteur embarqué	85%	79%	79%	81%	81%
	Eleveur	55%	59%	54%	61%	56%
	Robot	75%	69%	69%	71%	71%
	Taureau (*)	100%				

Tableau 5 : Sensibilité des détections des chaleurs en vue des inséminations suivantes

(*) considéré comme étant dans le lot des femelles.

Au-delà des rangs d'insémination du tableau ci-dessus, les probabilités utilisées sont celles des ovulations du Tableau 4 : Sensibilité des détections des chaleurs en vue d'une première insémination.

Ces valeurs ont été estimées sur la base de celles mises en œuvre par le simulateur « ECOMAST ».

2.2.1.1.2.3 Critères complémentaires d'influence sur la sensibilité de détection des chaleurs

Les probabilités de sensibilité de détection peuvent être minorées/majorées par des coefficients prenant en compte des critères complémentaires liés notamment à la conduite et aux conditions de logement.

2.2.1.1.2.3.1 Sols glissants

Un facteur de 0.5 est appliqué à celui de détection obtenu (sauf taureau). Il s'agit d'une option de conduite décrite au paragraphe *2.2.1.2.3 Sol glissant*.

2.2.1.1.2.3.2 Chaleurs concomitantes

La concomitance d'animaux en chaleurs facilite leur détection. Les valeurs multiplicatives appliquées dans ce cas sont les suivantes :

2 chaleurs	+ de 2 chaleurs
1.3	1.4

Tableau 6 : Valeur multiplicative augmentant la sensibilité en cas de chaleurs concomitantes

2.2.1.1.2.3.3 Production laitière

Une production laitière de 50 kg/jour a pour effet de réduire de 50% la probabilité précédemment estimée de détection des chaleurs tous signes confondus (Disenhaus *et al.*, 2010).

La valeur multiplicative v appliquée à la probabilité de détection des chaleurs est calculée de la manière suivante :

$$v = 1 - (\frac{\text{PLJ}}{100}))$$

$$v \geq 0$$

(PLJ = production laitière du jour)

2.2.1.1.2.3.4 Effet de la boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs

La sensibilité de détection des chaleurs est perturbée lorsque la vache subit une boiterie, selon les modalités décrites au paragraphe *2.2.3.3.1.1.3.1.1 Effet d'une boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs*.

2.2.1.1.3 Spécificité de détection des chaleurs

Un défaut de spécificité est le fait que l'éleveur considère en chaleur des vaches qui ne le sont pas. Cela vaut uniquement pour les inséminations artificielles (IA), les inséminations naturelles (saillies) n'étant pas concernées.

Les taux d'erreurs de spécificité sont de deux ordres :

- la spécificité après vêlage, sous-entendu, on ne connait pas la date de la chaleur d'avant,
- la spécificité lors des retours après IA sous-entendu, on connait la date de la chaleur d'avant.

Les pourcentages établis ci-après traduisent la probabilité de commettre cette erreur lors de la détermination des chaleurs.

2.2.1.1.3.1 Défaut de spécificité après vêlage (ou après mise à la reproduction pour les génisses) et avant la première insémination artificielle

Des probabilités de défaut de spécificité sont appliquées pour les différentes périodes représentatives.

- *Génisses*

Pour ce qui est des génisses, il s'agit des animaux n'ayant jamais été inséminés depuis la décision de mise à la reproduction ou la dernière gestation non aboutie :

Mode de détection	1 à 46 jours après mise à la reproduction	47 jours et plus après mise à la reproduction
Capteur embarqué	1%	2%
Eleveur	4%	5%
Robot	2%	3%

Tableau 7 : Probabilités de défaut de spécificité pour les génisses

- *Vaches*

En ce qui concerne les vaches, il s'agit de celles qui n'ont pas encore été inséminées depuis le dernier vêlage :

Mode de détection	Primipares			Multipares		
	40-69 jours après gestation	70-100 jours après gestation	Plus de 100 jours après gestation	40-69 jours après gestation	70-100 jours après gestation	Plus de 100 jours après gestation
Capteur embarqué	1%	2%	5%	1%	2%	5%
Eleveur	4%	5%	13%	4%	5%	13%
Robot	2%	3%	6%	2%	3%	6%

Tableau 8 : Probabilités de défaut de spécificité pour les vaches après vêlage

2.2.1.1.3.2 Défaut de spécificité lors de retours après IA

Lorsqu'une insémination artificielle a été réalisée suite à une détection réelle d'ovulation, et qu'elle a été fécondante, une probabilité de 7% de défaut de spécificité est simulée, après l'IA, par une loi normale sur la base de l'intervalle entre ovulations et un écart type de 1.

2.2.1.1.4 Insémination et fertilité

Les inséminations sont considérées comme fécondantes si elles donnent lieu à une gestation. Ce résultat peut dépendre de la stratégie adoptée en termes d'inséminations et de la fertilité des animaux.

2.2.1.1.4.1 Choix des inséminations

Trois modes de fécondation sont proposés par le simulateur :

- la saillie naturelle par le taureau,
- l'insémination artificielle en semence conventionnelle,
- l'insémination artificielle en semence sexée (mâle ou femelle).

Les taureaux utilisés pour les inséminations sont choisis aléatoirement dans le catalogue constitué pour cela selon les modalités décrites au paragraphe *2.2.4.1.3 Valeur génétique des taureaux destinés aux inséminations (ou saillies)*, en fonction de la race reproductive à mettre en œuvre et de la stratégie génétique choisie par l'expérimentateur (équilibrée, avec priorité sur la quantité de lait ou sur les caractères fonctionnels).

Un plan d'accouplements est proposé permettant de répartir les types de semence et croisements entre races (*cf.* § *2.2.1.2.4 Plan d'accouplements*).

Lorsque que l'insémination artificielle survient suite à un défaut de spécificité (*cf.* § *2.2.1.1.3 Spécificité de détection des chaleurs*), celle-ci est non fécondante car réalisée « au mauvais moment ». Cependant, si par chance elle était opérée le jour d'une ovulation, elle serait alors considérée comme « au bon moment », avec les règles de réussite correspondantes.

Un paramètre de conduite permet de stopper les inséminations dans certaines conditions (*cf.* § *2.2.1.2.8 Décision individuelle d'abandon des inséminations liée à l'infertilité* des génisses *et des vaches*).

2.2.1.1.4.2 Fertilité – valeurs de base

Les probabilités de réussite (fertilité) liées aux modes de fécondation employés sont estimées pour une insémination au bon moment (lors de l'ovulation simulée). Elles intègrent les non-fécondations et la mortalité embryonnaire précoce. Elles se basent sur les résultats de l'étude FertilIA menée entre 2004 et 2007 sur les vaches de race Prim'Holstein (Salvetti *et al.*, 2011).

En ce qui concerne les génisses de races Normande et Montbéliarde, les résultats de l'étude FertilIA ont été pondérés pour tenir compte des écarts constatés lors de l'étude menée sur le sujet de l'utilisation de semences sexées en 2014 par l'IDELE (Le Mézec, 2015).

Celles qui concernent la saillie sont basées sur les dires d'experts.

Les taux de fertilité de base des modes de fécondation, ne tenant pas compte des effets néfastes de certains facteurs (*cf.* § *2.2.1.1.4.4 Modulation de la fertilité*), sont les suivantes :

		Saillie	**Insémination artificielle conventionnelle**	**Insémination artificielle sexée**
Normande	**Génisse**	95%	85%	69%
	Adulte	90%	78%	62%
Prim'Holstein	**Génisse**	95%	83%	69%
	Adulte	90%	74%	62%
Montbéliarde	**Génisse**	95%	85%	73%
	Adulte	90%	80%	67%

Tableau 9 : Taux de fertilité de base (ne tenant pas compte des effets néfastes de certains facteurs) selon les modes de fécondation

Un paramètre permet d'ajuster le niveau de fertilité du troupeau (*cf.* § *2.2.1.2.6 Facteur de fertilité propre au troupeau*).

2.2.1.1.4.3 Vêlages groupés

Par défaut, les vêlages sont répartis tout au long de la campagne. Le simulateur rend toutefois possible de regrouper les vêlages des génisses dans l'année, selon le paramétrage proposé au paragraphe *2.2.1.2.5 Vêlages groupés*, ce qui aura également une influence sur la constitution du troupeau initial (*cf.* § *2.2.5.1.1.1 Montée en puissance*).

L'insémination des génisses est reportée si le vêlage risque de se produire pendant la période proscrite.

2.2.1.1.4.4 Modulation de la fertilité

Certains facteurs peuvent avoir une influence négative ou positive sur la fertilité des animaux.

2.2.1.1.4.4.1 Production laitière

La production laitière a un impact sur la fertilité. Pour simuler cet effet, un facteur de fertilité lié à la production laitière dépendant de la production au pic de la vache est appliqué pour intervenir sur la réussite des inséminations, de la manière suivante (Meignan, 2018) :

Production au pic (en kg, règle de 3 pour les valeurs intermédiaires)	Facteur de fertilité lié à la production laitière
<= 27.2	1/0.95
= 36.6	1
>= 47.2	1/1.07

Tableau 10 : Calcul de la valeur du facteur de fertilité lié à la production laitière au pic

2.2.1.1.4.4.2 Potentiel individuel

Le caractère individuel est déterminé par le trait phénotypique « Fer », dont l'individualisation est décrite dans le chapitre *2.2.4.1.2 Valeur génétique individuelle*. Le principe adopté pour sa prise en compte au niveau de la simulation est celui d'appliquer à la probabilité de succès d'une insémination (ou d'une saillie) le facteur représenté par la performance corrigée de ce trait phénotypique (*cf.* § *2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte*).

2.2.1.1.4.4.3 Effets de la cétose sur la fertilité

La fertilité peut être perturbée lorsque la vache subit une cétose, selon les modalités décrites au paragraphe *2.2.3.2.1.1.2.1.2 Effet d'une cétose sur la fertilité*.

2.2.1.1.4.4.4 Effets de la boiterie sur la fertilité

La fertilité peut être perturbée lorsque la vache souffre d'une boiterie, selon les modalités décrites au paragraphe *2.2.3.3.1.1.3.1.3 Effet d'une boiterie sur la fertilité*.

2.2.1.1.4.4.5 Surveillance vétérinaire pour les problèmes de fertilité

La surveillance vétérinaire peut permettre d'améliorer la fertilité. C'est l'objet du paragraphe *2.2.1.1.5 Surveillance vétérinaire*.

2.2.1.1.5 Surveillance vétérinaire

Lorsqu'un contrat vétérinaire de reproduction est en cours (voir § *2.2.1.2.9 Contrat Reproduction*), les vaches adultes non gestantes et non destinées à la réforme sont examinées tous les 15 du mois en vue de déterminer la présence d'éventuels problèmes de reproduction. Trois cas sont déterminés :

a) Les vaches vêlées de plus de 60 jours non vues en chaleur,

b) Les vaches à 3 inséminations artificielles non fécondantes,

c) Les vaches dont le diagnostic de gestation est négatif à 35 jours après insémination (avec un défaut de sensibilité pour 3.7 % des vaches déjà gestantes).

En fonction de leur classification, les vaches reçoivent le traitement adapté qui aura pour effet :

- La réapparition des chaleurs (cas a, b et c, conduisant systématiquement dans ce dernier cas à une interruption de gestation lors d'un défaut de sensibilité), qui sera forcément détectée.
- L'augmentation de la fertilité (cas b).

Les caractéristiques précises de ces traitements sont paramétrables tel que défini au paragraphe *2.2.1.2.9 Contrat Reproduction*. Aucune attente lait n'est à appliquer avec ces traitements.

Par ailleurs, les métrites et autres pathologies de l'utérus n'étant pas modélisées, il est décidé d'appliquer une hausse de fertilité de 3 points de % (adapté[1] d'après (Fourichon, Seegers et Malher, 2000)) sur les vaches qui n'étaient pas concernées par le cas a.

[1] La revue de (Fourichon, Seegers et Malher, 2000) indique que les vaches ayant une endométrite ont une fertilité diminuée de 16 points de %. On considère qu'avec le suivi de reproduction elles sont diagnostiquées (1 vache sur 5 concernée) et traitées.

2.2.1.1.6 Gestation

La gestation est le fait qu'une vache, après avoir subi une insémination fécondante, porte un embryon. Elle a une durée de base, mais peut subir des interruptions avant terme. Si rien ne vient perturber le bon déroulement d'une gestation, la vache met bas un ou deux veaux.

2.2.1.1.6.1 Mortalité embryonnaire tardive et avortements

Partant du principe que le risque de mortalité embryonnaire précoce est pris en compte dans la fertilité (*cf.* § *2.2.1.1.4 Insémination et fertilité*), deux périodes de gestation critiques restent à distinguer en termes de simulation : les mortalités embryonnaires tardives (incluant des mortalités fœtales) et les avortements.

La période des mortalités embryonnaires tardives va du 16ème jusqu'au 89ème jour de gestation. Les taux de probabilité d'interruption de gestation dans cette phase ont été estimés à partir des résultats de l'étude FertilIA sur les vaches adultes de race Prim'Holstein (Salvetti *et al.*, 2011). L'application de ces résultats au profit des races Normande et Montbéliarde est le fruit d'études croisées d'observations de retours d'ovulation par l'IDELE (Le Mézec, 2015) et d'analyses de progestéronémie sur un large échantillon d'individus (Humblot, 2001).

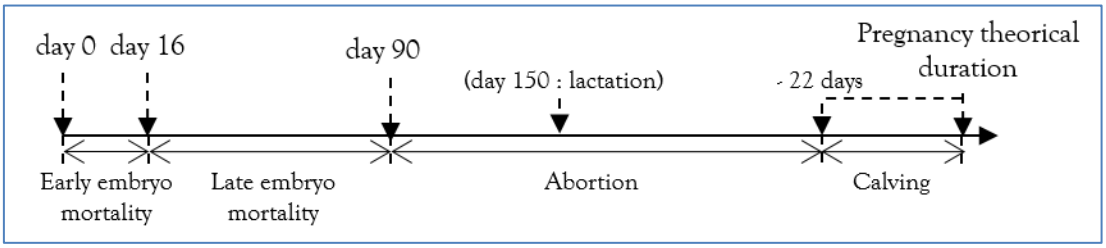


Figure 4 : Périodes à risque d'interruption des gestations

Les valeurs employées sont les suivantes :

	Mortalité embryonnaire Tardive (*)
Montbéliarde	21%
Normande	23%
Prim'Holstein	21%

Tableau 11 : Probabilité de mortalité embryonnaire tardive selon la race

(*) Distribution Beta-Pert avec sommet à 21 jours

La période des avortements tardifs commence au 90ème jour et va jusqu'au jour à partir duquel les vêlages commencent à apparaître selon la distribution établie, c'est-à-dire 22 jours de moins que la durée moyenne de gestation de la race (*cf.* § *2.2.1.1.6.2 Durée de gestation*).

Les taux mis en œuvre se basent sur l'observation de taux de mortalité de l'étude menée par l'UNCEIA (Humblot, 2001). Les valeurs employées sont les suivantes :

	Avortement tardif
Montbéliarde	1.6%
Normande	0.3%
Prim'Holstein	2.5%

Tableau 12 : Probabilité d'avortements tardifs

En fonction du stade de la gestation, un processus de lactation peut être engagé (*cf.* § *2.2.2.1 Valeurs constantes biologiques et techniques*).

2.2.1.1.6.2 Durée de gestation

La durée de gestation dépend de la race, de la parité, du sexe et du nombre de fœtus (Bareille *et al.*, 2016).

2.2.1.1.6.2.1 Race et parité

La durée nominale liée à la race est établie pour chaque vache de manière stochastique avec un écart type de 5 jours appliqué aux moyennes suivantes (Marceau *et al.*, 2014) :

	Durée moyenne génisse	**Durée moyenne vaches primipares et multipares**
Montbéliarde	286 j	287 j
Normande	285 j	286 j
Prim'Holstein	280 j	282 j

Tableau 13 : Moyenne des durées de gestation par race et parité

On néglige le fait que la durée de gestation soit influencée par la race du veau à naitre (croisé), ainsi que la répétabilité de la performance liée à la mère, du fait de l'héritabilité faible de la durée de gestation.

2.2.1.1.6.2.2 Sexe du veau à naître

En ce qui concerne le sexe du veau à naître, la probabilité qu'il soit une femelle est de 50% pour la saillie, 49% pour l'insémination artificielle conventionnelle, et de 93% (mâles) et 90% (femelle) pour les inséminations artificielles sexées (Le Mézec, 2015).

Lorsque le veau attendu est un mâle, la durée de gestation est réduite d'un jour.

2.2.1.1.6.2.3 Gestation gémellaire

La probabilité pour qu'une gestation compte deux fœtus est la suivante :

Nullipare	1%
Primipare	6%
Multipare	7%

Tableau 14 : Probabilité de gestation gémellaire

Ces valeurs se basent sur l'observation en 2004 de troupeaux de Prim'Holstein aux Etats-Unis (Germain, 2009). Si dans la réalité, le taux de gémellité des bovins dépend de la race, ce facteur n'est pas intégré dans le simulateur.

Si les veaux à naître sont de sexes opposés, la femelle sera stérile.

Le simulateur ne prend pas en compte un risque accru d'une vache à faire des gestations gémellaires.

Dans la réalité, en cas de gestation multiple, les mises-bas surviennent avec 5 à 8.5 jours d'avance (Germain, 2009). Le simulateur ne gérant que des gestations gémellaires, la durée de la gestation sera donc réduite de 5 jours.

2.2.1.1.7 Reprise de la cyclicité après interruption de gestation et vêlage

La reprise de cyclicité post partum dépend de la façon dont la gestation s'est terminée : la gestation interrompue ou le vêlage. Elle peut également subir les effets d'une cétose ou d'une boiterie.

2.2.1.1.7.1 Cas de l'interruption de gestation

Pour les cas d'interruption de gestation (mortalité embryonnaire tardive et avortement), le délai de retour en chaleur est proportionnel à la durée effective de gestation, croissant jusqu'au 150ème jour de gestation jusqu'à atteindre 60 jours, pour reprendre progressivement un cycle normal jusqu'au jour à partir duquel le vêlage est considéré comme normal :

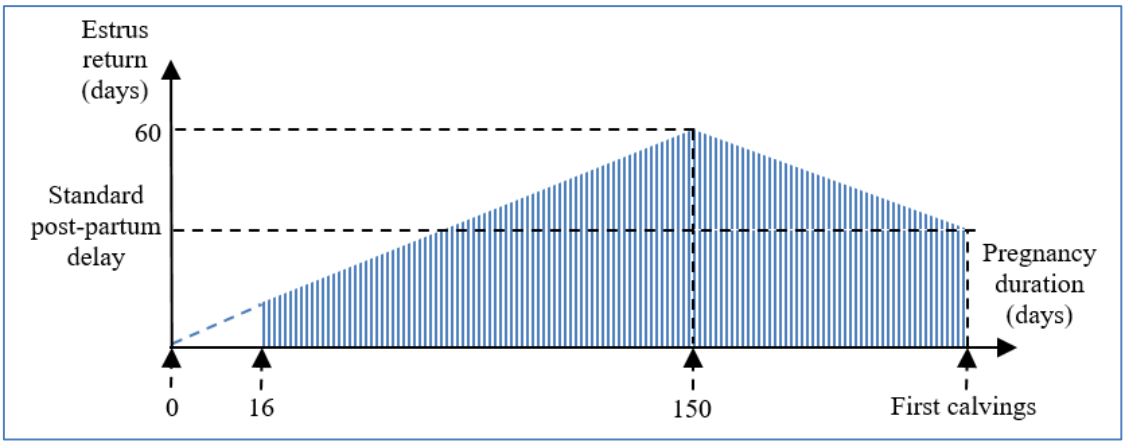


Figure 5 : Moment de la reprise de cyclicité après mortalité de l'embryon ou du fœtus

Le délai de mise à la reproduction après une interruption de gestation est une décision de l'éleveur (*cf.* § *2.2.1.2.7 Délai post-partum minimum avant la remise à la reproduction*). Si une nouvelle lactation débute avec cette interruption de gestation (stade de gestation d'au moins 150 jours), le délai est le même que celui du vêlage. Sinon, on n'applique pas de délai de latence.

2.2.1.1.7.2 Cas du vêlage

Le délai de reprise du cycle d'une vache après vêlage et la probabilité d'une interruption de cyclicité sont dépendants de sa race et de sa parité (Disenhaus *et al.*, 2008). La répartition des probabilités est la suivante :

		1er cycle standard (10 à 50 jours)		1er cycle retardé (51 à 100 jours)		1er cycle après 100 jours (INO)
		Cycle normal	Cycle interrompu	Cycle normal	Cycle interrompu	
Montbéliarde(*)	**Primipare**	84%	4%	11%	1%	0%
	Multipare	87%	11%	1.4%	0.6%	0%
Normande	**Primipare**	78%	6%	15%	1%	0%
	Multipare	83%	15%	1.4%	0.6%	0%
Prim'Holstein	**Primipare**	51%	19%	17%	1%	12%
	Multipare	56%	30%	5.4%	2.6%	6%

Tableau 15 : Reprise de cyclicité post-partum selon la race et la parité

(*) L'étude utilisée ne fait pas apparaitre le détail des reprises de cycle des primipares et multipares pour la race Montbéliarde, les valeurs ont été choisies par tâtonnements afin d'obtenir un écart de délai de mise à la reproduction de la vache montbéliarde 4 jours avant la normande (données Reproscope).

Le délai postpartum de l'ovulation du cycle standard et du cycle retardé est distribuée de manière uniforme sur la période concernée. Lorsqu'un cycle est interrompu, la seconde ovulation se produit 35 jours après la première. Pour ce qui est du premier cycle après 100 jours (INO), le jour J déterminé de reprise respecte la distribution suivante :

$$J = 101 * (1+ n^2)$$

Avec n = loi uniforme 0 à 1

Ces données sont une résultante globale. Elles intègrent la répartition des effets de la prévalence des cas de cétose définie au paragraphe *2.2.3.2.1.1.2.1.3 Effet d'une cétose sur la reprise d'activité ovarienne* et celle des cas de boiterie définie au paragraphe *2.2.3.3.1.1.3.1.2 Effet d'une boiterie sur la reprise d'activité ovarienne*.

2.2.1.1.7.3 Traitement en cas de problèmes de reprise de cyclicité

Un traitement prodigué par le vétérinaire peut résoudre des problèmes de reprise de cyclicité. C'est l'objet du paragraphe *2.2.1.1.5 Surveillance vétérinaire*

2.2.1.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la reproduction

Ce paragraphe permet de décrire les paramètres décisionnels de l'éleveur pour les aspects relatifs à la reproduction. Plusieurs options sont proposées à l'utilisateur. Combinées, elles permettent de simuler différents types de conduite.

2.2.1.2.1 Age de mise à la reproduction

Ce paramètre permet de définir l'âge en jours auquel les génisses sont mises à la reproduction par l'éleveur. Cela se traduit par une surveillance des chaleurs en vue de la première insémination.

La valeur par défaut est de 500 jours.

2.2.1.2.2 Modes de détection des chaleurs

Le mode de détection employé dans le troupeau est paramétrable. Les valeurs possibles sont :

- capteur embarqué,
- robot, avec dosage de la progestérone dans le lait, option payante (*cf. Tableau 138 : Tarifs par défaut des opérations comptables diverses)*
- éleveur,
- taureau, dans le cadre des saillies.

Cette option aura une incidence sur les taux de sensibilité des chaleurs (*cf.* § *2.2.1.1.2 Sensibilité de détection des chaleurs*) et sur les défauts de spécificité (*cf.* § *2.2.1.1.3 Spécificité de détection des chaleurs*).

Le mode par défaut est celui d'une détection par capteur embarqué.

2.2.1.2.3 Sol glissant

La simulation peut mettre en jeu des conditions de logement peu favorables à l'expression des chaleurs, comme un sol glissant, option booléenne (vrai ou faux) qui aura une incidence sur les taux de détection des chaleurs (*cf.* § *2.2.1.1.2.3.1 Sols glissants*).

Par défaut, l'option n'est pas retenue (faux).

2.2.1.2.4 Plan d'accouplements

Il est possible de paramétrer le choix des types et races d'inséminations en fonction du rang d'IA et de la parité de la vache, ainsi que la proportion à appliquer, en mettant en œuvre une loi de Bernoulli. Le complément de cette proportion occasionne une insémination artificielle conventionnelle (non sexée) de la race désignée du troupeau (*cf.* § *2.2.5.2.1.1 Race initiale des vaches*).

Les valeurs par défaut sont les suivantes :

	Première insémination		**Inséminations 2 et 3**		**Inséminations 4 et +**	
	Type d'insémination	**Race**	**Type d'insémination**	**Race**	**Type d'insémination**	**Race**
Génisses	100% Artificielle sexée femelle	100% Prim'Holstein	100% Artificielle conventionnelle	100% Prim'Holstein	100% Artificielle conventionnelle	100% Limousine
Primipares et multipares	100% Artificielle conventionnelle	100% Prim'Holstein	100% Artificielle conventionnelle	100% Prim'Holstein	100% Artificielle conventionnelle	100% Charolaise

Tableau 16 : Valeurs par défaut du plan d'accouplements

2.2.1.2.5 Vêlages groupés

Le regroupement des vêlages des génisses est possible par l'exclusion d'une période de la campagne. Le paramétrage consiste à indiquer le premier mois de l'exclusion des vêlages ainsi que le dernier. Les vêlages seront étalés au cours de la période restante de la campagne. Par défaut, aucune période de vêlage n'est exclue pour les génisses.

Ce paramétrage conditionne également le mode de constitution du troupeau, voir paragraphe *2.2.5.1.1.1 Montée en puissance*.

2.2.1.2.6 Facteur de fertilité propre au troupeau

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la fertilité (valeur supérieure à 1.0) ou de la réduire (valeur inférieure à 1.0). Cette option aura une incidence sur les taux de réussite des inséminations (*cf.* § *2.2.1.1.4 Insémination et fertilité*). Elle permet de faire intervenir l'effet de facteurs de conduite d'élevage qui influencent la fertilité et qui ne sont pas explicitement représentés.

Par défaut, la valeur à 1.0.

2.2.1.2.7 Délai post-partum minimum avant la remise à la reproduction (période d'attente)

Ce paramètre permet de définir la décision du délai à respecter avant une nouvelle mise à la reproduction faisant suite à un vêlage (fin de gestation ayant conduit à une lactation).

Accessoirement, ce paramètre permet d'appliquer une stratégie mettant en œuvre un allongement des lactations.

La valeur par défaut est de 55 jours.

2.2.1.2.8 Décision individuelle d'abandon des inséminations liée à l'infertilité des génisses et des vaches

Les délais décrits dans ce paragraphe permettent de déterminer si, dans certaines conditions, il n'est plus jugé nécessaire de réaliser les inséminations. Lorsqu'un animal remplit ces conditions, il est jugé infertile et donc généralement réformé (*cf.* § *2.2.5.1.1.2.2 Vente des génisses et réforme des vaches adultes*).

Le début de la période évaluée est la date de la décision de mise à la reproduction pour les génisses comme pour les vaches.

Absence de détection des chaleurs

Ce paramètre permet de définir le délai après lequel la première insémination ne sera plus tentée du fait qu'aucune chaleur n'a été détectée depuis la (re)mise à la reproduction. Les valeurs par défaut sont de 150 jours pour les génisses et de 190 jours pour les vaches.

Non fécondité

Ce paramètre permet de définir le délai après lequel les inséminations seront stoppées du fait qu'aucune n'a été fécondante depuis la (re)mise à la reproduction. Les valeurs par défaut sont de 200 jours pour les génisses et de 260 jours pour les vaches.

2.2.1.2.9 Contrat Reproduction

Une option de conduite permet de contractualiser les aspects reproduction avec un vétérinaire (voir *Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages)*. Cette option payante est facturée en début de campagne à l'échelle du troupeau, est calculée en multipliant le coût comptable pour un animal avec le nombre moyen de vaches présentes (voir § *2.2.7.1.1 Reproduction*).

Ce contrat permet de diminuer les coûts liés à la reproduction et de réaliser des traitements selon les problèmes de reproduction rencontrés (voir § *2.2.1.1.5 Surveillance vétérinaire*). Ces traitements sont paramétrables, ils sont définis par défaut de la manière suivante :

Cas	Vache vêlée non vue en chaleur (§ 2.2.1.1.5 a)	Inséminations artificielles non fécondantes (§ 2.2.1.1.5 b)	Diagnostic de gestation négatif (§ 2.2.1.1.5 c)
Nature	ENZAPROST® T	RECEPTAL® (2 ml)	ENZAPROST® T
Effet obtenu	Retour en chaleur (100%)	Nouvelle chaleur (100%) et hausse spécifique de la fertilité de 6 points de % sur l'IA	Retour en chaleur avec perte embryonnaire sur défaut de sensibilité (100%)
Délai avant effet	3 jours	Immédiat (à l'insémination)	3 jours
Sources	RCP*	(Besbaci *et al.*, 2020) et (Morgan et Lean, 1993)	RCP*

Tableau 17 : Plan de traitement vétérinaire au titre du contrat reproduction

* Résumé des Caractéristiques du Produit : http://www.ircp.anmv.anses.fr/rcp.aspx?NomMedicament=ENZAPROST+T

Le coût de ces traitements est paramétré dans le module comptable (*cf.* § *2.2.7.1.1 Reproduction*).

2.2.1.3 Données produites

Les données sont produites en se basant d'une part sur les vêlages, puis celles se basant sur les inséminations et enfin les données techniques de reproduction.

2.2.1.3.1 Performances de reproduction basées sur les vêlages

Par convention, un vêlage est considéré comme étant la mise au monde d'un ou deux veaux nés à terme. Les cas de mortalité embryonnaire ou d'avortement (*cf.* § *2.2.1.1.6.1 Mortalité embryonnaire tardive et avortements*) ne sont donc pas considérés comme des vêlages. Ces données sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur.

2.2.1.3.1.1 Primipares

Nom du résultat : « PrimipareReproductionResultsBasedOnCalving »

Type de production : ponctuelle.

Niveau de l'information : Vache.

Cette donnée est produite lors du vêlage d'une vache primipare.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Id	integer	Identifiant de l'animal concerné
Successful_calving_date	Date (*)	Date du vêlage obtenu
First_insemination_age	integer	Age à la première insémination
Successful_insemination_age	integer	Age à la première insémination fécondante
Calving_age	integer	Age au vêlage
First_insemination_date	Date (*)	Date de la première insémination
First_insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de la première insémination
First_insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle de la première insémination
Insemination_quantity	integer	Nombre d'inséminations cumulées
Successful_insemination_date	Date (*)	Date de l'insémination fécondante
Successful_insemination_number	integer	Numéro de l'insémination fécondante
Successful_insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de l'insémination fécondante
Successful_insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle d'insémination fécondante
First_insemination_successful_insemination_interval	integer	Nombre de jours entre la première insémination et celle fécondante
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 18 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches primipares basées sur les vêlages

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.1.3.1.2 Multipares

Type de production : ponctuelle.

Niveau de l'information : Vache.

Nom du résultat : « MultipareReproductionResultsBasedOnCalving »

Cette donnée est produite lors du vêlage d'une vache multipare.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Id	integer	Identifiant de l'animal concerné
Successful_calving_date	Date (*)	Date du vêlage obtenu
Previous_calving_date	Date (*)	Date du vêlage précédent
Previous_successful_calving_interval	integer	Nombre de jours entre le vêlage précédent et celui obtenu
Previous_calving_rank	integer	Rang du vêlage précédent
First_insemination_date	Date (*)	Date de la première insémination
First_insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de la première insémination
First_insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle de la première insémination
Previous_calving_first_insemination_interval	integer	Nombre de jours entre le précédent vêlage et la première insémination
Insemination_quantity	integer	Nombre d'inséminations cumulées
Successful_insemination_date	Date (*)	Date de l'insémination fécondante
Successful_insemination_number	integer	Numéro de l'insémination fécondante
Successful_insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de l'insémination fécondante
Successful_insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle d'insémination fécondante
Previous_calving_successful_insemination_interval	integer	Nombre de jours entre la première insémination et celle fécondante
First_insemination_successful_insemination_interval	integer	Nombre de jours entre la première insémination et celle fécondante
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 19 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches multipares basées sur les vêlages

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.1.3.2 Performances de reproduction basées sur les inséminations

Ces données sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur.

2.2.1.3.2.1 Nullipares

Nom du résultat : « NullipareReproductionResultsBasedOnInsemination »

Type de production : ponctuelle.

Niveau de l'information : Vache.

Cette donnée est produite lors de l'insémination d'une vache nullipare.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Id	integer	Identifiant de l'animal concerné
First_insemination_age	integer	Age à la première insémination
First_insemination_date	Date (*)	Date de la première insémination
Insemination_date	Date (*)	Date de l'insémination
Insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de l'insémination
Insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle de l'insémination
Insemination_quantity	integer	Nombre d'inséminations cumulées
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 20 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches nullipares basées sur les inséminations

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.1.3.2.2 Primipares et multipares

Nom du résultat : « PrimiMultipareReproductionResultsBasedOnInsemination »

Type de production : ponctuelle.

Niveau de l'information : Vache.

Cette donnée est produite lors de l'insémination d'une vache primipare ou multipare.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Id	integer	Identifiant de l'animal concerné
Previous_calving_date	Date (*)	Date du vêlage précédent
Previous_calving_rank	integer	Rang du vêlage précédent
First_insemination_date	Date (*)	Date de la première insémination
Insemination_date	Date (*)	Date de l'insémination
Insemination_type	Type d'insémination (*)	Type de l'insémination
Insemination_bull_breed	Race (*)	Race du mâle de l'insémination
Previous_calving_first_insemination_interval	integer	Nombre de jours entre le précédent vêlage et la première insémination
Insemination_quantity	integer	Nombre d'inséminations cumulées
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 21 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches primipares et multipares basées sur les inséminations

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.1.3.3 Données techniques de reproduction

Ces données sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le bilan annuel technique lié aux activités de reproduction.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
IV_IA1	real	Moyenne troupeau des intervalles vêlage-1ère IA
TRIA1	real	Moyenne troupeau du pourcentage de réussite de la 1ère IA
IVIAF	real	Moyenne troupeau des intervalles vêlage-IA fécondante
IVV	real	Moyenne troupeau des intervalles vêlage-vêlage
First_calving_age	real	Moyenne des âges de premiers vêlages
IA1_count	integer	Nombre de premières IA
IA_count	integer	Nombre de d'IA
Reproduction_treatment_count	integer	Nombre de traitements pour troubles de la reproduction
Reproduction_treatment_per_100_cows	real	Nombre de traitements pour troubles de la reproduction pour 100 vaches présentes dans le troupeau
Reproduction_culling_per_100_cows	real	Nombre de réformes pour troubles de la reproduction pour 100 vaches présentes dans le troupeau

Tableau 22 : Structure des données relatives aux résultats techniques liés à la reproduction

2.2.2 Lactation

Le module lactation intègre tous les aspects mis en œuvre pour simuler la production de lait des femelles. Si ce phénomène dépend fortement de contraintes biologiques, il est dirigé par des décisions de l'éleveur.

2.2.2.1 Valeurs constantes biologiques et techniques

Les paramètres internes mis en œuvre dans le cadre des simulations et touchant à la lactation concernent la production laitière en termes de durée, de quantité et de composition, dépendants de différents facteurs biologiques et techniques.

Le simulateur différencie les étapes de la lactation des vaches de la manière suivante :

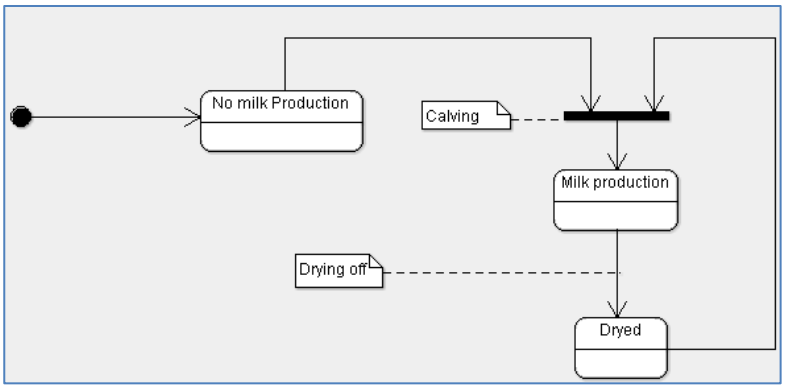


Figure 6 : Etapes d'initiation et de fin de lactation

Par convention, une lactation est considérée comme telle lorsque la femelle met bas au terme d'une gestation d'au moins 150 jours, quelle que soit la viabilité du(des) veau(x) mis au monde.

En ce qui concerne la représentation en litre de la production laitière exprimée en kg, le coefficient suivant est appliqué (Bareille *et al.*, 2017) :

1 litre = 1.033 kg

La durée de la lactation est en principe décidée par l'éleveur qui programme la date du tarissement. Comme la quantité produite et la composition, la durée de la lactation peut subir des influences.

2.2.2.1.1 Quantité et composition basales du lait, durée de base de la lactation, destination du lait

La quantité du lait produite et sa composition sont variables selon la race, de même que la production quotidienne dépend du stade de lactation (Bareille *et al.*, 2017). La durée de la lactation est une décision de l'éleveur.

2.2.2.1.1.1 Effet race sur la production laitière cumulée

La quantité et la composition du lait sont fonction de la race de la vache, et dans une moindre mesure de son patrimoine génétique (question traitée dans le paragraphe *2.2.4.1.1 Valeurs génétiques associées à un trait phénotypique*, mentionnant notamment les performances de base d'une production brute).

2.2.2.1.1.2 Production journalière selon le stade de lactation

La production laitière journalière (PLJ) n'est pas constante dans le temps, elle dépend du stade de la lactation. Par ailleurs, contrairement à la qualité du lait qui est représentée d'une part par le taux butyreux (TB) et d'autre par le taux protéique (TP), la quantité produite est également liée à la parité de la vache (1ère lactation, 2nde lactation et lactations suivantes). La forme des courbes ne dépend pas de la race, mais de la parité. Cela a été démontré par une étude d'observation rétrospective menée sur des données de troupeaux laitiers français inscrits au système de contrôle laitier officiel « Milk Recording Scheme » couvrant la période allant de janvier 2008 à décembre 2015. La forme des courbes de lactation de vaches non gestantes de race prim'holstein observée dans ces données pour les différentes parités a permis d'en réaliser la modélisation jusqu'au 800ème jour de lactation. En revanche, les niveaux de production sont différenciés par race tel que

modélisés dans le paragraphe *2.2.4.1.1.2 Critères des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques dépendant des races* et modulés tel que décrit au paragraphe *2.2.2.1.2 Modulation de la production laitière*.

Ainsi, pour chaque race et pour tenir compte de la parité, cinq courbes sont appliquées pour répartir au quotidien la PLJ tout au long d'une lactation de référence à 305 jours. Les courbes obtenues pour la PLJ sont les suivantes :

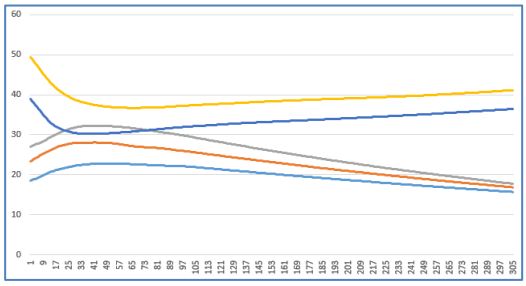


Figure 7 : Courbes de production laitière journalière pour la race Montbéliarde

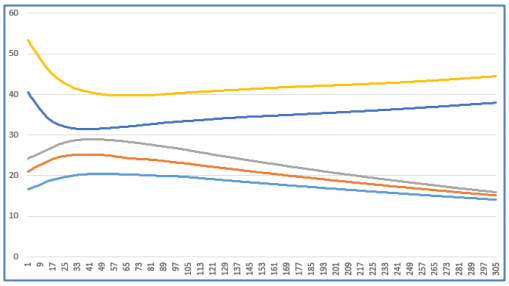


Figure 8 : Courbes de production laitière journalière pour la race Normande

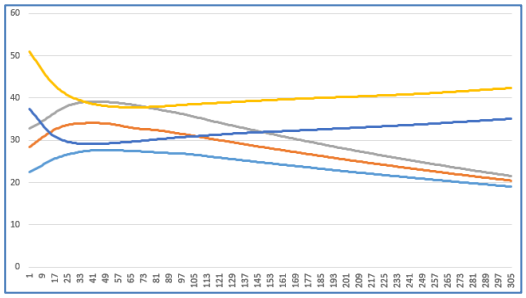


Figure 9 : Courbes de production laitière journalière pour la race Prim'Holstein

L'effet non gestant est décrit au § *2.2.2.1.2.3 Gestation.*

2.2.2.1.1.3 Concentration en cellules somatiques du lait en l'absence d'infection

Le niveau de concentration en cellules somatiques du lait en l'absence d'infection est dépendant du rang et du stade de lactation, mais pas de la race. Il est admis que la forme de la courbe représentant la variation due au stade de lactation soit celle observée pour la première lactation des vaches prim'holstein non gestantes tirée des mêmes données que celles utilisées pour les courbes de lait (voir paragraphe précédent), seuls les niveaux diffèrent en fonction du rang de lactation de la manière suivante :

Rang de lactation	**1**	**2**	**3 et +**
Niveau moyen (1000 cellules / ml)	43.3	67.7	84.7

Tableau 23 : Valeurs de base des niveaux de concentration de cellules somatiques du lait en l'absence d'infection mammaire en fonction de la parité

Ainsi, la Concentration en Cellules Somatiques (CCS) du lait en l'absence d'infection, exprimée en nombre de 1000 cellules / ml de lait, respectera les courbes suivantes :

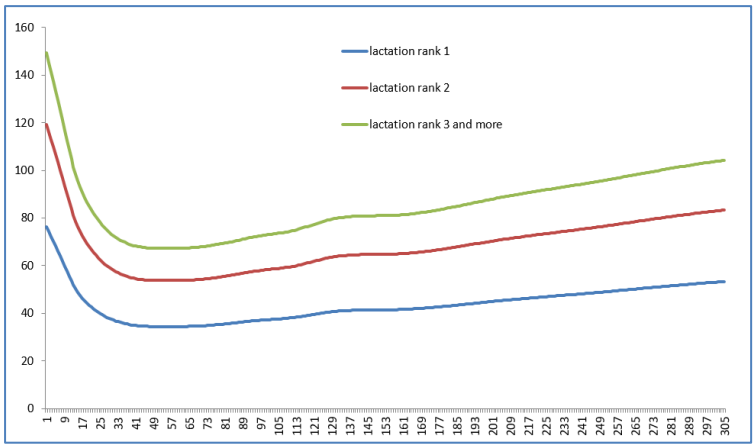


Figure 10 : Courbes de Wood de la CCS de la mamelle en l'absence d'infection mammaire

La variabilité inter-journalière du SCC (hors mammites) est définie au titre de l'aléa au paragraphe *2.2.2.1.2.14 Aléa*.

2.2.2.1.1.4 Durée de base de la lactation – programmation du tarissement

La durée théorique de la lactation est une décision de l'éleveur (tarissement). Cela lui permet d'envisager la période sèche qu'il souhaite dans le cadre de sa conduite. Cette durée est paramétrable (*cf.* § *2.2.2.2.1 Tarissement*).

A cet effet, si une lactation est en cours, la date de tarissement est programmée dès lors qu'une insémination a été déterminée comme réussie et donc qu'une gestation débute. Le calcul est réalisé de la manière suivante :

$$Tp = Ir + Pg - Ps$$

avec

Tp = date programmée du Tarissement

Ir = date de l'Insémination réussie

Pg = durée prévue selon la race et la parité de la Période de gestation

Ps = durée décidée de la Période sèche.

L'estimation « par l'éleveur » de la durée de la gestation se base sur la moyenne des durées de gestation en fonction de la race et de la parité (*cf.* § *2.2.1.1.6.2.1 Race et parité*). Elle ne tient pas compte d'autres facteurs biologiques d'influence. Le tarissement est déprogrammé en cas de mortalité embryonnaire ou d'avortement. Lorsqu'une date de tarissement a été programmée, la production laitière est stoppée le jour prévu. Dans le cas contraire (par exemple dans le cas où la vache est destinée à la réforme et donc n'a pas été mise à la reproduction), la production est automatiquement arrêtée dès lors que la quantité de lait produite est inférieure à celle paramétrée (*cf.* § *2.2.2.2.1 Tarissement*).

2.2.2.1.1.5 Destination du lait

La production des premiers jours de lactation n'est pas considérée comme consommable (commercialisable) puisqu'il s'agit du colostrum (Bareille *et al.*, 2017). Elle ne sera pas livrée à la laiterie, seulement comptabilisée en lait écarté. Le simulateur permet de paramétrer le délai pendant lequel ce lait sera écarté par l'éleveur (*cf.* § *2.2.2.2.3 Stade de lactation minimum pour le lait livré*).

Le lait à livrer produit quotidiennement est stocké dans le tank, il est collecté tous les trois jours calendaires. Ce lait est analysé à la coopérative à trois reprises dans le mois, de manière à déterminer le CCS moyen. Les dates de ces contrôles ne sont pas connues par les éleveurs, le simulateur les réalise les 5, 15 et 25 du mois, et les résultats sont communiqués le lendemain. En fonction du CCS mesuré (donc à partir du premier test) et du plafond de la CCS qu'il décide de ne pas dépasser, l'éleveur écarte le lait qui le pénalise le plus, c'est-à-dire celui du quartier de la vache qui présente le plus de CCS depuis les deux derniers contrôles laitiers (partant donc du principe que le contrôle laitier n'est pas une option de simulation, mais systématiquement abonné).

En fonction de la moyenne de la CCS des trois contrôles de lait réalisés dans le mois, des pénalités sont appliquées sur le prix payé du lait livré par l'éleveur, par tranches :

- au dessus de 250 (000/ml)
- au dessus de 300 (000/ml)
- au dessus de 400 (000/ml)

Le montant des pénalités est paramétrable, voir chapitre *2.2.7.1.2 Production*.

2.2.2.1.2 Modulation de la production laitière

La production laitière « réelle » est une modulation de la production théorique du fait des circonstances décrites ci-après.

2.2.2.1.2.1 Parité

La production laitière PL augmente avec la parité (Bareille *et al.*, 2017). A cet effet, le simulateur fait intervenir un coefficient diviseur de la production laitière PL en niveau adulte, dont les valeurs sont établies comme suit (Institut de l'élevage, 2024b) :

Parité	Valeur du coefficient diviseur
1	1.3
2	1.12
3	1.03
4+ (adulte)	1.0

Tableau 24 : Diviseur de la quantité de lait produite à l'âge adulte en fonction de la parité

Les durées restent inchangées, mais une très légère dégradation du TP avec l'âge (-0.2g/kg entre la 1ère et la 4ème lactation) est prise en compte.

2.2.2.1.2.2 Tarissement

La période sèche commence à partir de la date du tarissement (arrêt de la traite) et se termine au début de la lactation suivante. Sa durée de référence est une décision de l'éleveur, mais elle peut être modulée en fonction d'évènements biologiques imprévisibles (avortements, variabilité de la durée de gestation, ...).

La durée de la période sèche a une influence sur la production à venir. En effet, la suppression du tarissement a pour effet de diminuer la quantité de lait produite de 15%, et une période sèche de 30 jours de 7%.

Le principe adopté pour simuler cet effet est l'application d'une valeur multiplicative dont le calcul est basé sur une proportionnalité mettant en œuvre la durée effective de la période sèche (compte tenu des évènements biologiques) et de la diminution prévisible de la quantité :

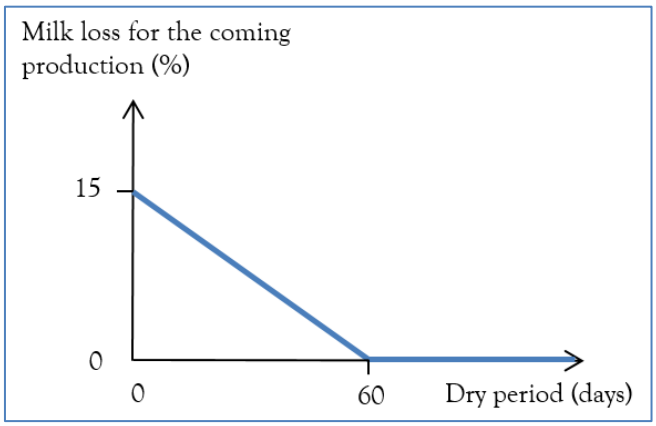


Figure 11 : Effet de la diminution de la production laitière à la lactation suivante du fait de la réduction de la période sèche

La valeur multiplicative proportionnée v est donc calculée à l'aide de la formule suivante :

$$v = 1 - \frac{\text{ps} * \left(\frac{-15}{60}\right) + 15}{100}$$

$$avec \quad 0.85 \leq v \leq 1$$

ps = durée réelle de la période sèche.

En ce qui concerne les TB et TP, selon l'Enquête Bretonne (Kerouanton *et al.*, 1995, Désigné 1966), les gains obtenus du fait de l'omission du tarissement de la lactation précédente sont les suivants (Rémond, Kérouanton et Brocard, 1997) :

Lactation	Gain en TB (g/kg)	Gain en TP (g/kg)
2nde	2.9	3.0
3ème et plus	0.4	1.1

Tableau 25 : Gain en TB et TP du fait de l'omission du tarissement de la lactation précédente

Selon le même schéma que pour la production laitière, la valeur additive proportionnée v est calculée pour le TB et le TP à l'aide de la formule suivante :

$$v = g\ x\ \frac{60 - ps}{60}$$

$$avec \quad v \geq 0$$

g = gain de référence

ps = durée réelle de la période sèche.

La forme de la courbe de lactation est peu ou pas modifiée par l'absence de tarissement (Rémond, Kérouanton et Brocard, 1997), elle n'est pas modifiée dans la simulation.

2.2.2.1.2.3 Gestation

Les courbes théoriques de production (*cf.* § *2.2.2.1.1 Quantité et composition basales du lait, durée de base de la lactation, destination du* lait) partent du principe que les vaches ne sont pas gestantes. En cas de gestation en cours, les valeurs suivantes sont déduites de la quantité produite (Billon, 2015) :

Stade de lactation	Valeur déduite
A partir de 242 j	1 kg
A partir de 272 j	2 kg
A partir de 303 j	2,5 kg

Tableau 26 : Valeur déduite de la production de lait d'une vache gestante en fonction du stade de lactation

Les TB, TP ne sont pas affectés.

2.2.2.1.2.4 Potentiel individuel

Le potentiel individuel à l'état adulte (lactation 4) dépend de la valeur génétique de l'individu. Il est déterminé dans la simulation pour les traits phénotypiques suivants :

- LAIT : Quantité de lait (en kg)
- TB : Taux butyreux ou taux de matière grasse (en g/kg)
- TP : Taux protéique (en g/kg)

La détermination de ces valeurs est expliquée dans le module génétique (*cf.* § *2.2.4 Génétique*).

2.2.2.1.2.5 Œstrus

La production laitière diminue le jour où la vache est en chaleurs de 5 à 10% (Bareille *et al.*, 2017). A cet effet, le simulateur fait intervenir ce jour-là une valeur multiplicative de 0.925 jouant sur la quantité du lait produit, ce qui correspond à une baisse de 7.5%.

Les TB et TP ne subissent aucune modification lors de l'œstrus.

2.2.2.1.2.6 Photopériode

La photopériode (associée à la saison) a un effet spécifique sur la production laitière journalière de la vache (Coulon, Chilliard et Rémond, 1991). Cet effet additif respecte la courbe suivante (Bareille *et al.*, 2017) :

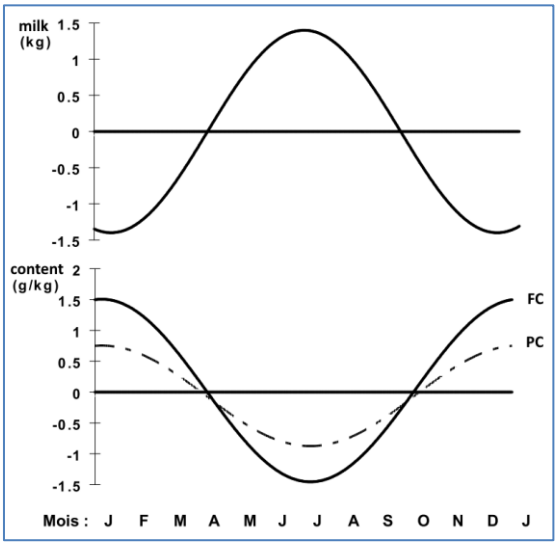


Figure 12 : Effet spécifique du mois de l'année sur la production laitière de la vache

Ainsi, l'équation employée pour déterminer la valeur multiplicative v de la performance p à ajouter à la production laitière du jour (PLJ) est la suivante :

$$v = p * \cos(\frac{2\pi * < jour\ de\ l'année >}{< nombre\ de\ jours\ dans\ l'année >})$$

Avec pour valeurs de critère p :

Valeur de p	Facteur
Production laitière (kg)	-1.5
TB (g/kg)	1.5
TP (g/kg)	0.75

Tableau 27 : Facteur multiplicateur saisonnier propre à chaque performance

L'effet photopériode ainsi calculé est applicable sur un troupeau situé à la latitude moyenne de la France métropolitaine.

2.2.2.1.2.7 Fréquence de traite

La fréquence de traite est généralement établie à deux fois par jour. Une réduction de cette fréquence à une fois a pour effet de diminuer la production de 25%, avec une augmentation du TB de 2.7g/kg et du TP de 2.2g/kg (Rémond, Pomiès et Pradel, 2005). En revanche, une traite effectuée 3 à 4 fois par jour permet une augmentation d'environ 15%, sans modification des taux (Bareille *et al.*, 2017) ni de la CCS.

La fréquence de traite est paramétrable (*cf.* § *2.2.2.2.2 Fréquence de traite*).

2.2.2.1.2.8 Concentration de Cellules Somatiques

Au-delà de 50 000 cellules/ml de lait, la CCS occasionne un effet réducteur sur la quantité de lait produite dépendant de la parité et du stade de lactation. Cet effet consécutif à la présence de mammites est pris en compte par le simulateur par l'application des équations suivantes (Hortet *et al.*, 1999) :

$$RMY(X) = (a * DIM^2 + b * DIM + c) * \log n(\frac{X}{50})$$

Avec

RMY = réduction de la production laitière (kg)

X = valeur étudiée de CCS (1000 cells/ml)

DIM = stade de lactation

et pour chaque parité :

Parité	a	b	c
1	0	0	0.44
2	0.00002	-0.0019	0.5006
3+	0.00001	0.0015	0.3341

Tableau 28 : Paramètres spécifiques à chaque parité pour l'équation de réduction de la quantité de lait liée à la CCS du lait

2.2.2.1.2.9 Effet des mammites sur la production laitière

Les mammites peuvent survenir depuis l'approche de la première lactation jusqu'à la réforme (ou la mort) de la vache. En fonction de sa gravité, cette maladie peut modifier la production laitière, tant en quantité qu'en composition. Ces situations sont décrites dans le paragraphe *2.2.3.1.1.1.3 Conséquences des IIM*.

2.2.2.1.2.10 Effet de la cétose sur la production laitière

Lorsqu'elle apparait, la cétose modifie la production laitière, tant en quantité qu'en composition. Cette situation est décrite dans le paragraphe *2.2.3.2.1.1.2.2 Effet d'une cétose sur les performances de production laitière*.

2.2.2.1.2.11 Effet des boiteries sur la production laitière

Lorsqu'elle apparait, une boiterie modifie la production laitière, tant en quantité qu'en composition. Cette situation est décrite dans le paragraphe *2.2.3.3.1.1.3.2 Effet d'une boiterie sur les performances de production laitière*.

2.2.2.1.2.12 Perte d'un quartier

Lorsqu'un quartier est tari (par exemple à la suite d'un cas grave de mammite, *cf.* § *2.2.3.1.1.1.3.2 Diminution accrue de la production laitière*), la production de la mamelle est réduite de 20% (ECOMAST), ce qui revient à augmenter légèrement la quantité théorique de lait produit par chacun des quartiers indemnes de la mamelle, selon un facteur F défini de la manière suivante :

$$F = 1 + \frac{\left(\frac{1}{4} - 0.2\right)}{3} \cong 1.0167$$

2.2.2.1.2.13 Alimentation

La production laitière du présent chapitre est calculée en partant du principe que la vache est alimentée de manière équilibrée. Lors du pic de production, il peut s'avérer nécessaire d'ajouter un complément en concentré de production. Ce levier d'action est détaillé dans le paragraphe *2.2.6.2.2 Rations de concentré de production*.

2.2.2.1.2.14 Aléa journalier

Un aléa est appliqué sur la production laitière du jour. Cet aléa respecte les caractéristiques suivantes :

Critère	Distribution
Quantité	Uniforme (+ ou – 2kg)
TB	N (0 ; 1.25)
TP	N (0 ; 0.5)
SCC	N (0 ; 0.1)

Tableau 29 : Aléa quotidien sur les performances laitières

2.2.2.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la lactation

Différents paramètres permettent à l'utilisateur de définir les règles de conduite liées à la lactation.

2.2.2.2.1 Tarissement

Le simulateur propose à l'utilisateur de paramétrer la décision sur la durée de la période sèche (*cf.* § *2.2.2.1.1.4 Durée de base de la lactation – programmation du tarissement*). Par défaut, cette durée est de 60 jours.

2.2.2.2.2 Fréquence de traite

Le simulateur permet de différencier des fréquences quotidiennes de traite :

- une fois par jour,
- deux fois par jour (valeur par défaut),
- au-delà de deux fois par jour,

Cette option peut avoir une incidence sur la quantité de lait produite (*cf.* § *2.2.2.1.2.7 Fréquence de traite*).

2.2.2.2.3 Stade de lactation minimum pour le lait livré

Un stade légal de lactation est à respecter avant que le lait ne soit reconnu comme commercialisable (*cf.* § *2.2.2.1.1.5 Destination du lait*). Ce délai est de six jours, valeur appliquée par défaut par le simulateur. Pour autant, l'expérimentateur a la possibilité de paramétrer cette valeur pour décider d'un stade différent.

2.2.2.2.4 Niveau de production du troupeau

Le simulateur permet de faire varier le niveau de production du troupeau par rapport à la moyenne des troupeaux de même race. Pour chaque caractéristique laitière (quantité, TB et TP), une valeur de paramètre exprimée en kg pour la quantité et en g/kg pour les TB et TP sera ajoutée à la production à 305 jours de l'animal en fonction de l'ajustement souhaité du niveau de production du troupeau simulé. La valeur par défaut est de 0.

2.2.2.3 Données produites

Les données produites concernent les livraisons de lait, les mises à l'écart, les résultats de contrôles laitiers et les données techniques de production.

2.2.2.3.1 Lait livré en laiterie

Ces données sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur.

Nom du résultat : « DeliveredMilk »

Type de production : mensuelle, mode verbeux.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le bilan de la production laitière mensuelle (somme des productions laitières journalières) pour le troupeau. Cette production est diminuée de la consommation de lait par les veaux, dès lors que cette option a été retenue (*cf.* § *2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux*).

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Date	Date (*)	Date du bilan
Liter_quantity	real	Quantité de lait livré du mois (litres)
Liter_TB	real	Moyenne proportionnée du Taux Butyreux des laits du mois (g/l)
Liter_TP	real	Moyenne proportionnée du Taux Protéique des laits du mois (g/l)
SCC (**)	real	Moyenne proportionnée de la CCS des laits du mois (1000/ml)
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 30 : Structure des données relatives aux résultats mensuels de lait livré

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

(**) L'obtention de la valeur de la CCS est détaillée dans le paragraphe *2.2.3.1.1.1.3.1 Augmentation de la concentration en cellules somatiques*.

2.2.2.3.2 Lait écarté et jeté

Ces données sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur.

Nom du résultat : « DiscardedMilk »

Type de production : mensuelle, mode verbeux.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le bilan mensuel du lait écarté et jeté (somme des quantités journalières de lait réellement écarté) pour le troupeau. Ce résultat tient compte de l'éventuelle consommation par les veaux de lait écarté, dès lors que cette option a été retenue (*cf.* § *2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux*).

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	**Format**	**Valeur**
Date	Date (*)	Date du bilan
Liter_quantity	real	Quantité de lait écarté du mois (litres)
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 31 : Structure des données relatives aux résultats mensuels du lait écarté

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.2.3.3 Estimation des performances par le contrôle laitier

Ces données sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : « MilkControlResults »

Type de production : mensuelle.

Niveau de production : Simulation (fusion du résultat de tous les protocoles et des runs)

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le résultat des contrôles laitiers, lequel n'est pas une option mais est systématiquement mis en œuvre par le simulateur le 15 de chaque mois (prélèvement de 10 cl de lait par vache contrôlée). Bien que considérées présentes dans le troupeau, les vaches n'ayant pas atteint le stade de lactation minimum pour le lait livré ne sont pas considérées en lactation et leur lait n'est donc pas contrôlé (*cf.* § *2.2.2.2.3 Stade de lactation minimum pour le lait livré*). Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	
Date	Date (***)	Date du contrôle
Herd_cow_count	integer	Nombre de vaches présentes dans le troupeau
Milking_cow_count	integer	Nombre de vaches traites présentes dans le troupeau
Average_milk_quantity_cow	real	Moyenne de la quantité de lait par vaches traites (contrôlées) le jour du contrôle (kg)
Average_lactation_stage	integer	Moyenne des stades de lactation des vaches non taries en jours
Average_FC	real	Moyenne proportionnée du Taux Butyreux des laits du jour (g/kg)
Average_PC	real	Moyenne proportionnée du Taux Protéique des laits du jour (g/kg)
Average_SCC (*)	real	Moyenne proportionnée de la CCS du jour (1000 cellules/ml)
SCC_300_prevalence	real	Ratio de vaches en lactation dont la CCS dépasse 300 000 c/ml le jour du contrôle
SCC_300_incidence	real	Ratio d'incidence relatif au seuil de la CCS à 300 000 c/ml (**)
Detected_infectious_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie infectieuse détectée
Infectious_G1_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie infectieuse G1
Infectious_G2_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie infectieuse G2
Detected_non_infectious_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie non infectieuse détectée
Non_infectious_G1_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie non infectieuse G1
Non_infectious_G2_lameness_percent	real	Pourcentage de vaches contrôlées présentant une boiterie non infectieuse G2

Tableau 32 : Structure des données relatives aux résultats de contrôles laitiers mensuels

(*) La SCC représente l'aspect du lait. Cette notion est détaillée dans le paragraphe *2.2.3.1.1.1.3.1 Augmentation de la concentration en cellules somatiques*.

(**) Le ratio d'incidence est obtenu par le calcul BH / (BB + BH), avec BH le nombre de vaches en cours de lactation dont la CCS du lait produit le mois précédent a été inférieure à 300 000 c/ml et dont la CCS a dépassé 300 000 c/ml le jour du test, et BB celui de vaches en cours de lactation dont la CCS du lait produit le mois précédent a été inférieure à 300 000 c/ml et qui sont restées avec une CCS inférieure à 300 000 c/ml le jour du test.

(***) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.2.3.4 Données techniques de production

Ces données sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le bilan annuel technique lié aux activités de production.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Delivered_milk_liter_quantity	real	Quantité de lait totale livrée sur la campagne (litres)
Delivered_milk_liter_quantity_by_cow	real	Quantité de lait totale livrée sur la campagne / Nombre moyen de vaches présentes (litres)
Produced_milk_liter_quantity_by_cow	real	Quantité de lait totale produite sur la campagne / Nombre moyen de vaches présentes (litres)
SCC	real	Comptage cellulaire lait de tank moyen sur la campagne (1000 cellules/ml)
TB_liter	real	Niveau du TB lait de tank sur la campagne (g/litres)
TP_liter	real	Niveau de TP lait de tank sur la campagne (g/litres)

Tableau 33 : Structure des données relatives aux résultats techniques de production

2.2.3 Santé

Ce module traite des maladies de production pouvant avoir un impact économique, tant en termes de perte de production que pour ce qui est des coûts sanitaires liés à leur traitement.

Les maladies mises en œuvre par le simulateur et décrites dans ce chapitre sont les mammites (ou Infections Intra-Mammaire), la cétose et la boiterie.

2.2.3.1 Infection Intra-Mammaire (IIM)

En phase de lactation, des cellules somatiques sont présentes naturellement dans le lait produit, même en l'absence d'infection, ceci à des concentrations limitées. Les IMM sont des infections provoquées par la prolifération de différents types de bactéries, elles ont pour effet de provoquer la défense immunitaire de la vache, et donc de faire monter de manière conséquente la concentration de ces cellules somatiques. Elles peuvent apparaitre sur les quatre quartiers de la mamelle. Ces IIM ont des conséquences sur la quantité et la qualité du lait produit par les vaches, sur leur reproduction. Ces conséquences peuvent aller jusqu'à la réforme de l'animal. Selon leur gravité, les IIM peuvent nécessiter des traitements en vue de leur guérison.

2.2.3.1.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives aux IIM

2.2.3.1.1.1 Description des IIM

Le présent chapitre a pour but de décrire les différents types de mammites ainsi que leur niveau de gravité, leur relation avec le rang de lactation et l'impact sur la production laitière et la santé de l'animal.

2.2.3.1.1.1.1 Types d'IIM

Les IIM mises en œuvre par le simulateur sont de cinq types différents, ce qui permet de prendre en compte la diversité des entités épidémio-cliniques actuelles :

Nom de la bactérie	Nom abrégé
Staphylococcus aureus	StaphA
Streptococcus uberis	StreptU
Gram Negative bacterium	G-
Coagulase Negative Staphylococcus	CNS
Corynebacterium bovis	CB

Tableau 34 : Bactéries responsables d'IIM

2.2.3.1.1.1.2 Niveaux de gravité des IIM

Lors de sa survenue, chaque IIM peut débuter sous forme subclinique ou clinique de différents niveaux de gravités, et selon des fréquences qui leur sont propres.

2.2.3.1.1.1.2.1 Définition des niveaux de gravité des IIM

Les niveaux de gravité ont été déterminés de la manière suivante :

Nom	Définition
G0	IIM subcliniques
G1	IIM avec légère modification du lait (clinique)
G2	IIM locale (clinique)
G3	IIM systémique (clinique)

Tableau 35 : Niveaux de gravité des IIM

2.2.3.1.1.1.2.2 Répartition des niveaux de gravité selon le type d'IMM et le stade de lactation / gestation des vaches au moment de l'infection

Trois degrés de gravité sont à différencier selon le stade et le numéro de lactation de la vache (Robert-Briand, 2006). Dans le simulateur, ils sont répartis de la manière suivante :

Stade de lactation (*)	Numéro de lactation		
	Primipare	2 lactations	3 lactations et +
Péri-partum et début de lactation	majoration	majoration	majoration
Lactation	de base	de base	majoration
Période tarie	minoration	majoration	majoration

Tableau 36 : Majoration ou minoration de la gravité des IIM selon le stade et le rang de lactation

(*) la durée des périodes est définie au § *2.2.3.1.1.2.1 Périodes à risque page 48*.

Ainsi, lorsque la vache est infectée, la distribution de la gravité initiale (éventuellement majorée ou minorée) de l'IIM est réalisée ainsi (Ecomast) :

Type d'IIM	Répartition du risque de gravités (%) de base (minorée - majorée)			
	G0	G1	G2	G3
StaphA	85 (87 – 86)	9 (7 – 3)	5 (4 – 7)	1 (2 – 4)
StreptU	45 (45 – 25)	25 (30 – 13)	23 (23 – 49)	7 (2 – 13)
G-	15 (10 – 15)	33 (38 – 20.5)	36 (41 – 23.5)	16 (6 – 41)
CNS	90 (90 – 90)	5 (7 – 4)	5 (3 – 5.5)	0 (0 – 0.5)
CB	98 (98 – 98)	1.5 (1.8 – 1.3)	0.3 (0.2 – 0.4)	0.2 (0 – 0.3)

Tableau 37 : Répartition du risque de gravité des IIM

2.2.3.1.1.1.3 Conséquences des IIM

En fonction de leur type, les IIM peuvent avoir des conséquences sur la production ainsi que sur l'état de l'animal.

2.2.3.1.1.1.3.1 Augmentation de la concentration en cellules somatiques

La survenue d'IIM a pour effet d'augmenter la concentration de cellules somatiques, la CCS évolue donc dans les proportions suivantes (ECOMAST) :

Type d'IIM	Gravité	CCS min (1000/ml)	CCS max (1000/ml)
StaphA	G0	1320	3800
	G1	1000	27000
	G2	7700	47500
	G3	27000	55000
StreptU	G0	2760	6160
	G1	2000	26000
	G2	7500	47500
	G3	26000	55000
G-	G0	2430	6700
	G1	2500	26000
	G2	7500	47500
	G3	26000	55000
CNS	G0	530	2080
	G1	700	27000
	G2	7500	47500
	G3	27000	55000
CB	G0	310	1980
	G1	500	20000
	G2	6000	34000
	G3	20000	40000

Tableau 38 : Effet de la survenue d'IIM sur la CCS du quartier

Cette variabilité est mise en œuvre par l'application quotidienne d'une loi Beta-Pert délimitée par les valeurs min et max ainsi déterminées et décalée à gauche, éventuellement cumulée si plusieurs mammites (donc de bactéries différentes) infectent simultanément le même quartier.

Selon la CCS résultant des IIM, le lait d'un quartier peut être écarté par l'éleveur. La stratégie mise en œuvre dans ces circonstances est détaillée au paragraphe *2.2.2.1.1.5 Destination du lait*.

2.2.3.1.1.1.3.2 Diminution accrue de la production laitière

La quantité de lait réduit naturellement avec l'augmentation de la concentration en cellules somatiques (*cf.* § *2.2.2.1.2.8 Concentration de Cellules Somatiques*). Pour les mammites cliniques, la perte de production laitière pendant leur phase sévère est spécifiquement appliquée comme suit (Robert-Briand, 2006) :

Type d'IIM	**Gravité**	**Perte de lait du quartier**		
		Perte max (%)	**Durée mini** (j)	**Durée maxi** (j)
StaphA	G1	20	8	10
	G2	40		
	G3	75		
StreptU	G1	25	5	10
	G2	40		
	G3	75		
G-	G1	1	5	15
	G2	4		
	G3	110 [1]		
CNS	G1	0	2	10
	G2	40		
	G3	60		
CB	G1	20	2	10
	G2	40		
	G3	60		

Tableau 39 : Conséquences des cas cliniques d'IIM sur la production laitière du quartier

La variabilité de la durée d'une mammite est mise en œuvre par l'application d'une loi uniforme délimitée par les valeurs minimales et maximales ainsi déterminées. C'est également le cas pour la variabilité du pourcentage de perte de lait qui lui est associé. Si le quartier subit plusieurs infections (donc de bactéries différentes), c'est le pourcentage de perte de lait le plus élevé qui sera appliqué.

Dans les cas extrêmes d'une mammite de gravité G3, une probabilité existe de perte définitive du quartier. Elle est la suivante :

Type d'IIM	**Probabilités de perte définitive du quartier** (%)
StaphA	2
StreptU	6
G-	2
CNS	2
CB	1

Tableau 40 : Probabilités de perte du quartier en cas de mammite de gravité G3

Cette perte éventuelle intervient à la fin prévue de la période d'infection, elle a un effet sur la production laitière des quartiers voisins (*cf.* § *2.2.2.1.2.12 Perte d'un quartier*).

2.2.3.1.1.1.3.3 Impact sur l'alimentation

Du fait de la réduction de la quantité de lait produite en cas de mammite, la consommation d'aliment est diminuée selon la modalité suivante : une diminution de 8 kg de lait occasionne une baisse de consommation d'1 kg (réparti proportionnellement entre le fourrage et le concentré), sauf pour les cas de perte de quartier pour lequel cet effet est divisé par 2.

2.2.3.1.1.1.3.4 Impact des mammites sur la sensibilité aux autres maladies

Les mammites ont un effet sur la sensibilité à d'autres maladies. Les maladies concernées dans DHM sont la cétose (cf. § *2.2.3.2.1.2.2.5 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie)* et les boiteries (cf. § *2.2.3.3.1.2.2.1.4 Modulation de l'incidence de la boiterie liée à la concurrence d'autres maladies*).

[1] La perte est totale sur le quartier, et impacte à 10% le quartier voisin

2.2.3.1.1.1.3.5 Mortalité et risque de réforme liés à une gravité G3

Les IIM de gravité G3 peuvent avoir un impact sur le devenir de l'animal selon les probabilités suivantes (Robert-Briand, 2006) :

Type d'IIM	Probabilités (%)	
	Mortalité	Réforme
StaphA	2	2
StreptU	1	1
G-	5	8
CNS	0	0
CB	0	0

Tableau 41 : Mortalité et risque de réforme lié à une gravité G3

2.2.3.1.1.2 Incidence des IIM

La survenue ou non d'une IIM sur un quartier d'une vache donnée dépend de la combinaison d'un risque propre à la vache et au quartier, de son environnement et de l'efficacité des méthodes de prévention. Ainsi, la probabilité de base d'apparition d'une IIM dépend de l'incidence des mammites sur la mamelle par cycle de lactation, correspondant à une utilisation des moyens élémentaires de prévention.

La mamelle d'une vache (ou d'une génisse à l'approche du premier vêlage) est susceptible de contracter une IIM selon le modèle épidémiologique suivant :

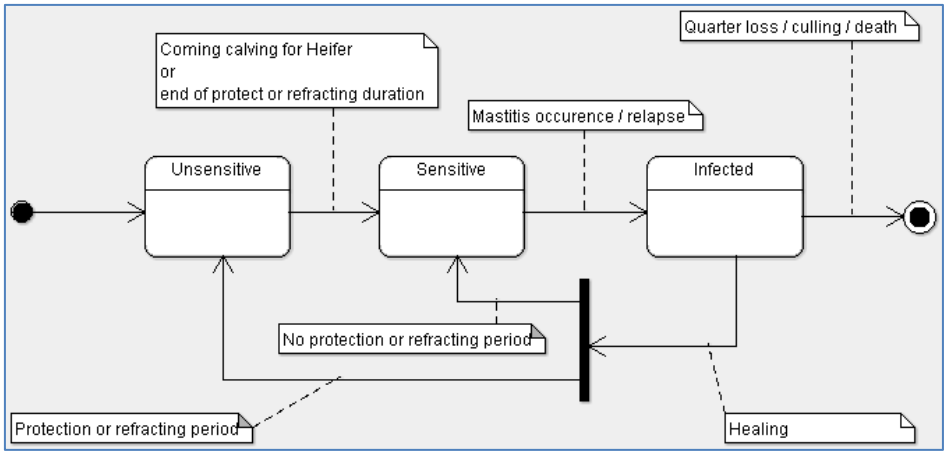


Figure 13 : Modèle épidémiologique des IIM

Ce modèle présenté ici est simplifié. La dynamique d'évolution des infections appliqué pour chaque quartier et pour chaque type de bactérie est détaillée dans le paragraphe *2.2.3.1.1.4 Evolution et guérison*. Toutes les bactéries ne sont pas équivalentes au niveau de l'incidence. La part d'incidence que chacune est amenée à prendre est paramétrable, c'est l'objet du paragraphe *2.2.3.1.2.3 Part du type de bactérie dans l'incidence*.

Si un quartier est susceptible de contracter plusieurs IIM simultanément, c'est parce qu'elles sont causées par des bactéries différentes. Pour chaque quartier, une période réfractaire de 7 jours est appliquée après la survenue d'une IIM, empêchant l'apparition d'une nouvelle infection. A l'issue de cette période, le quartier est de nouveau exposé aux IIM. Un seul cas peut survenir un jour donné sur un quartier, en cas de conflits (plusieurs cas incidents pour des bactéries différentes), c'est le trouble le moins fréquent qui est retenu. L'ordre de classement établi est le suivant (du moins fréquent au plus fréquent) :

- Gram Negative
- Streptococcus Uberis
- Staphylococcus Aureus
- Coagulase Negative Staphylococcus
- Corynebacterium Bovis

La mamelle est considérée infectée par une bactérie dès lors qu'un de ses quartiers est à l'état infecté pour cette bactérie.

2.2.3.1.1.2.1 Périodes à risque

Le risque d'apparition de la maladie dépend notamment des périodes biologiques et des activités de production, en particulier celles liées aux lactations (Robert-Briand, 2006). Il est donc fonction des périodes (re)productives de la vache, dont l'enchainement et les durées de référence sont définis ainsi :

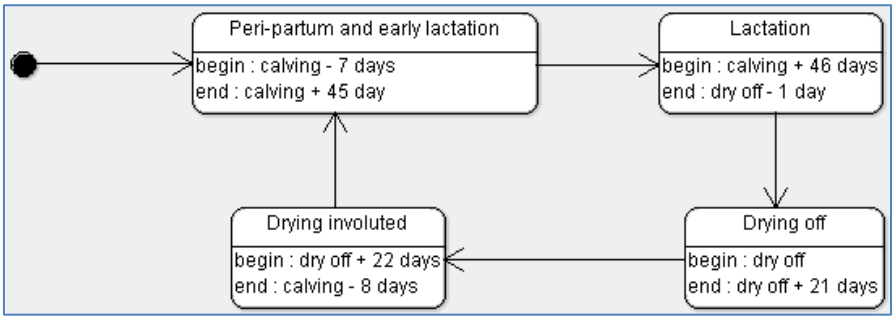


Figure 14 : Enchaînement et durée de référence des périodes (re)productives à risque d'IIM

Remarque : la période péri-partum est également déclenchée au moment d'un avortement s'il a occasionné une lactation (*cf.* § *2.2.1.1.6.1 Mortalité embryonnaire tardive et avortements*).

La répartition de base de l'occurrence de chaque type d'IIM en fonction du stade de gestation-lactation de la vache, sur la base d'une lactation à 305 jours et d'une période tarie de 60 jours (donc pour un cycle de référence de 365 jours), est la suivante (ECOMAST) :

Type d'IIM	**Périodes**			
	Péri-partum et début de lactation	Lactation	Tarissement	Tarie involuée
StaphA	0.42	0.31	0.2	0.07
StreptU	0.51	0.22	0.2	0.07
G-	0.615	0.235	0.1	0.05
CNS	0.825	0.025	0.1	0.05
CB	0.3	0.55	0.08	0.07

Tableau 42 : Répartition de l'occurrence de chaque type d'IIM en fonction du stade de gestation-lactation sur une année

Ainsi, s'appuyant sur deux distributions Beta-Pert ayant respectivement comme pic le jour du vêlage et comme valeur de lambda 10 pour l'une, et comme pic 5 jours après le tarissement et comme valeur de lambda 4 pour l'autre, les probabilités d'occurrences d'IIM sont réparties de la manière suivante :

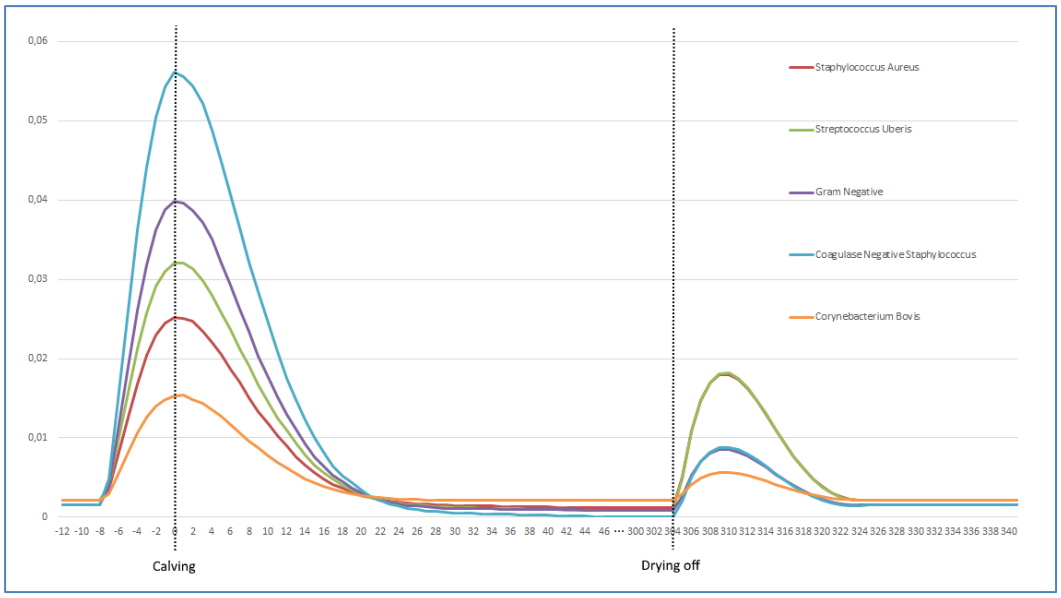


Figure 15 : Répartition de l'occurrence de chaque type d'IIM en fonction du stade de gestation-lactation

2.2.3.1.1.2.2 Modulation du risque d'incidence

Le risque d'incidence des mammites peut être modulé en fonction de situations propres à chaque individu et aux conditions d'élevage.

2.2.3.1.1.2.2.1 Modulation individuelle du risque d'incidence

Le risque subi d'apparition de cas de mammites de base peut être pondéré par des conditions particulières. En effet, certaines pratiques de conduite, et notamment celles mises en œuvre dans le cadre de la prévention, peuvent moduler ce risque, ce qui est simulé par la prise en compte d'un facteur global de prévention individuelle, paramétrable selon les modalités définies au paragraphe *2.2.3.1.2.5 Facteur de prévention des mammites au niveau de* la vache. Pour les autres, elles sont définies dans les paragraphes qui suivent.

2.2.3.1.1.2.2.1.1 Production laitière

L'incidence des IIM peut évoluer suivant la quantité de lait produite lors d'une lactation. Si la quantité tend vers le seuil défini comme minimal, le risque est atténué (Billon, 2015). Au contraire, lors des pics de production, le risque est aggravé :

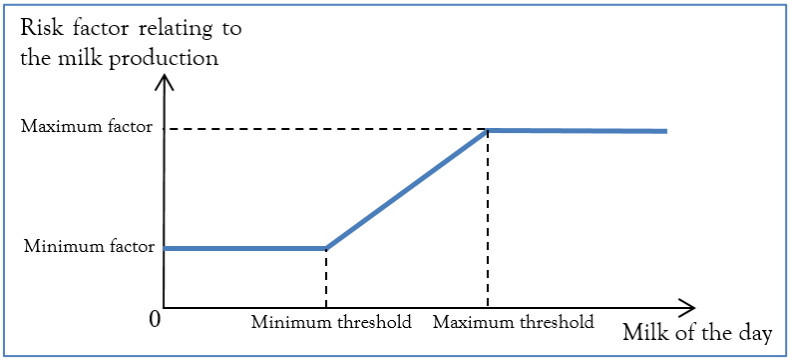


Figure 16 : Facteur de risque d'incidence des mammites en fonction de la production laitière

Les valeurs du seuil de production de la mamelle et le risque afférent, dépendantes de la bactérie étudiée, sont définies de la manière suivante (ECOMAST) :

Type d'IIM	Risque minimisé		Risque maximisé	
	Seuil de production (kg)	Facteur de risque	Seuil de production (kg)	Facteur de risque
StaphA	25	0.50	50	1.5
StreptU	25	0.45	50	2.0
G-	25	0.45	50	1.8
CNS	25	0.50	50	1.5
CB	25	0.50	50	1.5

Tableau 43 : Valeurs du facteur de risque d'incidence des mammites en fonction de la production laitière de la mamelle et de la bactérie concernée

2.2.3.1.1.2.2.1.2 Rang de lactation

L'incidence des IIM peut être différente en fonction du rang de lactation de la vache, elle a tendance à augmenter au long de sa vie productive (Billon, 2015). Afin de prendre en compte cet effet dans le simulateur, un facteur de risque lié à ce rang de lactation est appliqué. Sans distinction de type de bactérie, ce risque est déterminé de la manière suivante (ECOMAST) :

Nombre de lactations	Facteur de risque
1	0.75
2	1
3	1
4 et +	1.5

Tableau 44 : Risque d'IIM lié au rang de lactation

2.2.3.1.1.2.2.1.3 Potentiel lait

Le potentiel lait influe sur l'incidence des IIM lors des phases de lactation. Plus la vache est en mesure de produire du lait, plus le risque d'apparition de mammites est élevé (Billon, 2015). Afin de faire intervenir cet effet, le simulateur applique un facteur de risque basé sur les valeurs suivantes, sans distinction de type de bactérie (ECOMAST) :

	Risque minimum	Risque maximum
Potentiel lait	4000 kg	12000 kg
Risque associé	0.8	1.5

Tableau 45 : Risque d'IIM lié au potentiel lait

Le potentiel lait mis en œuvre ici est la performance lait corrigée *P* de l'individu, basée sur la production en lactation corrigée (cumulée sur 305 jours et niveau adulte) de la race, décrite dans le chapitre *2.2.4.1.1 Valeurs génétiques associées à un trait phénotypique*.

2.2.3.1.1.2.2.1.4 Caractère individuel

Le caractère individuel de sensibilité aux mammites est déterminé par le trait phénotypique « MACL », qui est décrit dans le chapitre *2.2.4.1.2 Valeur génétique individuelle*. Le principe adopté pour sa prise en compte au niveau de la simulation est d'appliquer au risque le facteur représenté par la performance corrigée de ce trait phénotypique (*cf.* § *2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte*).

2.2.3.1.1.2.2.1.5 Risque d'IIM lié au niveau de la CCS préexistante

La préexistence d'une CCS élevée au niveau de la mamelle peut avoir un effet bénéfique sur l'incidence des IIM durant la lactation. A l'inverse, un niveau bas peut en favoriser l'apparition (Billon, 2015). Le simulateur permet de produire ces effets en appliquant un facteur de risque basé sur les valeurs suivantes (ECOMAST) :

Type d'IIM	Facteur de risque		
	CCS < 75 (1000/ml)	CCS ≥ 75 (1000/ml) et CCS ≤ 750 (1000/ml)	CCS > 750 (1000/ml)
StaphA	1	1	0.8
StreptU	1	1	0.8
G-	1.1	1	0.8
CNS	1	1	0.8
CB	1	1	0.8

Tableau 46 : Valeurs du facteur de risque d'incidence des mammites en fonction du niveau préexistant de la CCS

2.2.3.1.1.2.2.1.6 Interdépendance des quartiers

Le risque de survenue d'une mammite sur un quartier est accru par la présence éventuelle d'une mammite de même type (même bactérie) sur un autre quartier de la mamelle. Ces facteurs complémentaires de risque sont définis de la manière suivante (ECOMAST) :

Type d'IIM	Facteur de risque
StaphA	3.2
StreptU	3.2
G-	3.2
CNS	3.2
CB	3.2

Tableau 47 : Risque d'IIM lié à l'interdépendance des quartiers

2.2.3.1.1.2.2.1.7 Modulation de l'incidence des mammites liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie

La présence de certaines maladies peut augmenter le risque de développer une mammite. La sensibilité aux mammites concerne tous types d'IIM, dont la gravité est clinique (G1, G2 et G3). Les risques relatifs associés sont les suivants :

Maladie	Risque relatif	Durée du risque	Références
Cétose	1,61	Concomitant à la maladie	G1 : (Raboisson, Mounié et Maigné, 2014) Autres gravités : Extrapolation du risque à partir de dires d'experts
Boiterie	1,44	Concomitant à la maladie	(Peeler, Otte et Esslemont, 1994)

Tableau 48 : Risque relatif de survenue d'une mammite liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie

2.2.3.1.1.2.2.2 Modulation du risque d'incidence liée à la conduite du troupeau

Le risque subi d'apparition de cas de mammites de base peut être également modulé par certaines circonstances ou pratiques de conduite, et notamment celles mises en œuvre dans le cadre de la prévention troupeau. Le risque lié à la saison et celui de la contagion du lot sont simulés précisément dans les paragraphes qui suivent. Pour les autres effets, un facteur global de prévention auprès de la population est employé, il est paramétrable selon les modalités définies au paragraphe *2.2.3.1.2.6 Facteur de prévention des mammites au niveau du troupeau.*

2.2.3.1.1.2.2.2.1 Risque lié à la saison (effet logement)

Suivant la saison, l'incidence des mammites peut être aggravée (voire minorée). Le simulateur reproduit cet effet par la prise en compte d'un facteur réduisant ou augmentant la probabilité d'apparition d'une mammite en fonction du mois de simulation et de la bactérie étudiée. Ce facteur paramétrable est décrit au paragraphe *2.2.3.1.2.2 Impact saisonnier sur l'incidence des IIM.*

2.2.3.1.1.2.2.2.2 Contagion du lot

La présence de mammites dans un lot peut avoir un effet de contagion à tout le lot. A cet effet, le simulateur permet de définir, par bactérie, la relation entre le nombre de cas rencontrés les sept derniers jours, à l'échelle

d'un quartier, et l'incidence du jour simulé, par la prise en compte d'un facteur *f* intervenant de la manière suivante :

f = 1 + <*effet de contagion*> * <*prévalence de la semaine précédente*>

L'effet par bactérie est défini ainsi (Billon, 2015) :

Bactérie	Effet de contagion
StaphA	0.15
StreptU	0.08
G-	0.05
CNS	0.10
CB	0.15

Tableau 49 : Effet de contagion des IIM dans le lot

2.2.3.1.1.3 Détection des IIM

Si dans la simulation les IIM cliniques de gravité G2 à G3 sont systématiquement détectées, ce n'est pas forcément le cas des IIM de gravité G1. La sensibilité de détection des mammites de ce niveau de gravité est paramétrable, c'est l'objet du paragraphe *2.2.3.1.2.1 Sensibilité de détection des mammites cliniques de faible gravité.*

2.2.3.1.1.4 Evolution et guérison

La dynamique d'évolution des infections d'un quartier par un type de bactérie est définie selon le modèle suivant :

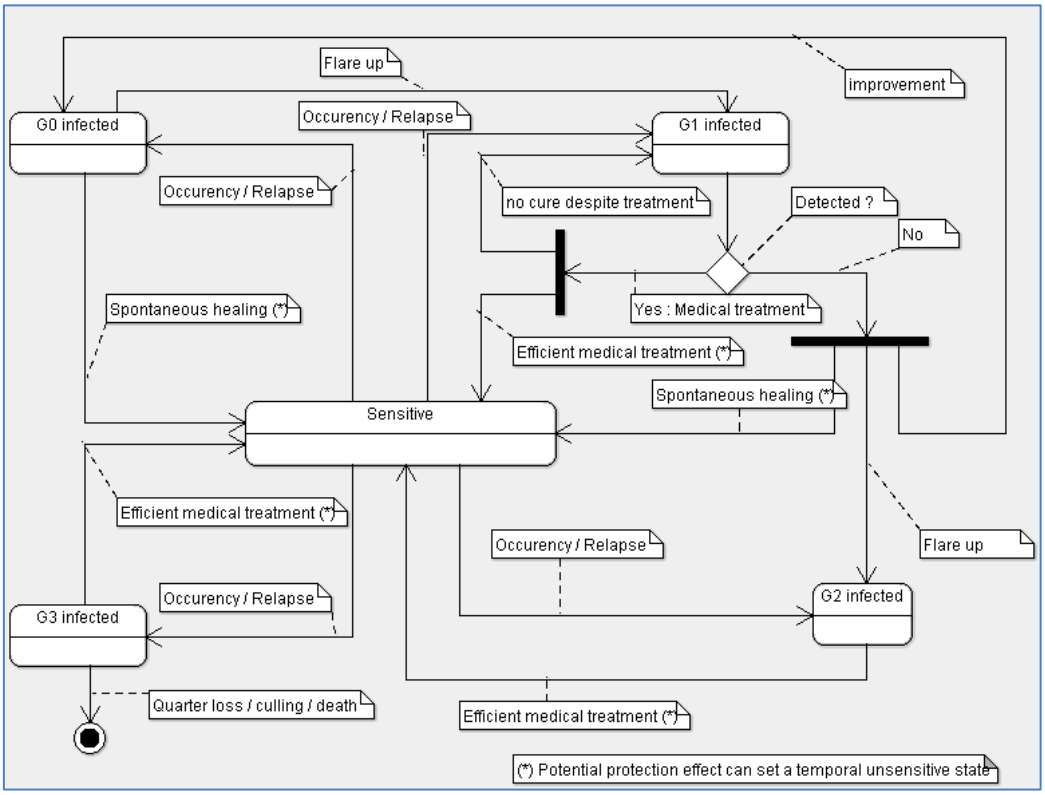


Figure 17 : Dynamique d'évolution des IIM

2.2.3.1.1.4.1 Guérison spontanée

Si la guérison nécessite généralement des traitements, elle peut être spontanée (Billon, 2015).

2.2.3.1.1.4.1.1 Guérison spontanée de base

Les IIM subcliniques de gravité G0, si elles ne se transforment pas en mammite clinique (*cf.* § *2.2.3.1.1.4.2.1 Récurrence clinique d'une infection subclinique persistante*), peuvent faire l'objet d'une guérison spontanée au bout

de 50 jours, et dans le cas contraire leur durée est portée à 200 jours. Une IIM de gravité G1, s'il elle n'a pas été détectée, ne bénéficiera pas des traitements médicaux adaptés, elle peut néanmoins guérir spontanément ou régresser en G0. Les conditions de guérison spontanée des mammites de gravités G0 et G1 non détectée sont les suivantes :

Type d'IIM	En période de lactation (péri partum jusqu'au tarissement)	Au tarissement	En période sèche
StaphA	0.2	0.35	0.2
StreptU	0.3	0.45	0.3
G-	0.9	0.9	0.9
CNS	0.2	0.7	0.65
CB	0.2	0.6	0.5

Tableau 50 : Taux de base de guérison spontanée d'une IIM de gravité G1 non détectée en fonction de l'agent pathogène

2.2.3.1.1.4.1.2 Guérison induite par la guérison d'une nouvelle infection sur le quartier

La guérison d'une mammite (causée par une bactérie) survenue après une mammite déjà présente sur le quartier (donc due à une autre bactérie) peut déclencher la guérison de cette dernière. La probabilité de subsistance de la mammite préexistante dans ce cas est déterminée dans les conditions suivantes (ECOMAST) :

IIM occurrente guérie	IIM préexistante dans le quartier				
	StaphA	StreptU	G-	CNS	CB
StaphA		1.0	0.5	0.5	0.5
StreptU	1.0		0.5	0.1	0.3
G-	1.0	1.0		0.1	0.3
CNS	1.0	1.0	0.5		0.7
CB	1.0	1.0	0.5	0.7	

Tableau 51 : Probabilité de subsistance d'une mammite préexistante sur guérison d'une mammite occurrente postérieure

Pour les mammites de gravité G3, elles ne guériront selon cette modalité que s'il était prévu qu'elles guérissent. Cela exclut celles pour lesquelles était prévue une perte de quartier, une réforme ou une mortalité (*cf.* § *2.2.3.1.1.1.3.2 Diminution accrue de la production laitière* et *2.2.3.1.1.1.3.5 Mortalité et risque de réforme liés à une gravité G3*).

2.2.3.1.1.4.2 Aggravation d'une mammite

Dans certaines conditions, des mammites peuvent être amenées à s'aggraver. Ce peut être le cas des mammites subcliniques persistantes ou des mammites de gravité G1 non détectées.

2.2.3.1.1.4.2.1 Récurrence clinique d'une infection subclinique persistante

Les infections subcliniques persistantes présentent un risque de récurrence clinique, dont la probabilité est définie de la manière suivante (ECOMAST) :

Type d'IIM	Probabilité (%)
StaphA	30
StreptU	60
G-	90
CNS	10
CB	0

Tableau 52 : Récurrence clinique d'une infection subclinique persistante en fonction du type de bactérie

Ainsi, à la fin de la période définie initialement pour chaque mammite de gravité G0, un tirage aléatoire est réalisé, permettant de déterminer si la mammite s'est aggravée (donc devenue de gravité G1) ou si elle a fait l'objet d'une guérison spontanée.

2.2.3.1.1.4.2.2 Aggravation d'une mammite clinique non détectée

Lorsqu'une mammite de gravité G1 est non détectée (*cf.* § *2.2.3.1.2.1 Sensibilité de détection des mammites cliniques de faible gravité*), elle évolue dans 10% des cas et au bout de 2 jours en une mammite de gravité G2, et si elle ne fait pas l'objet d'une guérison spontanée (*cf.* § *2.2.3.1.1.4.1.1 Guérison spontanée de base*), elle évolue en mammite G0 au bout de 5 jours.

2.2.3.1.1.4.3 Guérison suite aux traitements

Lorsqu'une IIM est détectée, elle fait systématiquement et immédiatement l'objet d'un traitement médical prodigué suivant sa gravité par l'éleveur lui-même ou par un vétérinaire. L'efficacité de ce traitement sera différente suivant le plan de traitement des mammites qui sera mis en œuvre et du caractère de l'individu. Ce traitement est effectué sur une durée donnée et ses effets peuvent demander un certain délai. Cela peut conduire à ne pas commercialiser le lait de la mamelle pendant le traitement mais également au-delà. Les autres mammites (y compris les subcliniques) présentes dans le quartier bénéficient également des bienfaits du traitement occasionné par la détection d'une mammite clinique, dans les mêmes conditions que celles paramétrées dans le plan de traitement.

Dans certaines conditions, ce traitement peut avoir un effet protecteur contre la survenue des nouvelles mammites, quelle que soit la bactérie. Cet éventuel effet est appliqué dès la prise du traitement.

Les critères permettant de définir les traitements sont paramétrables selon les modalités décrites au paragraphe *2.2.3.1.2.4 Plan de traitement*.

2.2.3.1.1.4.4 Rechutes

La probabilité d'une rechute clinique d'une mammite persistante (non guérie) est définie, en fonction du pathogène, de la manière suivante (Robert-Briand, 2006) :

Pathogène	**Taux de rechute** (%)
StaphA	50
StreptU	50
G-	10
CNS	10
CB	10

Tableau 53 : Taux de rechute en fonction du pathogène

Cette probabilité correspond au risque potentiel de rechute clinique dans les 245 jours suivant le début d'une IIM non soignée (gravités G0 et G1 non détectées) mais guérie spontanément. Elle est simulée selon un loi béta décalée à gauche ($\alpha = 2$, $\beta = 4$) afin que la probabilité de rechute soit maximale dans les 60 jours post IIM. Cette rechute n'est effective que si le quartier concerné est sensible à cette mammite au moment prévu.

2.2.3.1.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs aux IIM

Divers paramètres permettent de modifier les conditions sanitaires d'élevage, en fonction des besoins de simulation.

2.2.3.1.2.1 Sensibilité de détection des mammites cliniques de faible gravité

L'expérimentateur a la possibilité de paramétrer la probabilité de détection par l'éleveur des mammites cliniques de gravité G1. La valeur par défaut est de 50%.

A contrario, le contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) permet de porter à 100% la sensibilité de détection des mammites de gravité G1 à partir de 6 mois après sa mise en place, quelle que soit la valeur du paramètre de la sensibilité de détection des mammites de gravité G1 défini au départ de la simulation (Beaugrand, données personnelles).

2.2.3.1.2.2 Impact saisonnier sur l'incidence des IIM

L'expérimentateur peut définir l'impact saisonnier sur l'incidence des IIM. Il s'agit d'affecter un facteur de diminution ou d'augmentation de la valeur nominale (valeur neutre égale à 1) pour chaque bactérie et chaque mois de l'année.

Afin de mettre en évidence l'augmentation de l'incidence des IIM en été et en hiver pour certaines bactéries, les valeurs par défaut proposées par le simulateur ont été définies ainsi (ECOMAST) :

Type d'IIM	Facteur d'aggravation		
	Eté (de juillet à août)	Hiver (période de stabulation, de décembre à février)	Reste de l'année
StaphA	1	1	1
StreptU	1.2	1.2	1
G-	1.5	1.5	1
CNS	1	1	1
CB	1	1	1

Tableau 54 : Valeurs par défaut du facteur de modification de l'incidence des IIM en fonction de la saison

2.2.3.1.2.3 Part du type de bactérie dans l'incidence

L'expérimentateur peut ajuster la part d'importance du type de bactérie dans l'incidence. Les valeurs par défaut, normalisées, sont les suivantes (ECOMAST) :

Type d'IIM	Part d'incidence
StaphA	0.283
StreptU	0.351
G-	0.027
CNS	0.226
CB	0.113

Tableau 55 : Part des types de bactéries dans l'incidence des mammites

2.2.3.1.2.4 Plan de traitement

Pendant la lactation, lorsqu'une mammite est détectée par l'éleveur (mammite clinique), elle donne lieu à un traitement paramétré pour cette période. Le traitement curatif des mammites occasionne une activité non planifiée de l'éleveur, renforcée par la venue non planifiée du vétérinaire en cas de gravité G3 pour un soin à la vache (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*). Lorsque la vache est tarie, si elle est gestante et que son taux de cellules mesuré au dernier contrôle laitier dépasse 200 000 c/ml, elle fait l'objet d'un traitement préventif paramétré pour cette période, activité planifiée de l'éleveur (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*). Les valeurs par défaut de ce plan de traitement sont les suivantes (Billon, 2015) :

	Période de lactation (péri partum jusqu'au tarissement)			Tarissement et période sèche		
Nom	Default Mastitis wide range treatment			Default Mastitis AB BP treatment		
Délai avant effet (j)	2			1		
Durée d'attente lait (j)	4			14		
Bactérie	**Probabilité de guérison**	**Risque relatif d'effet de protection**	**Durée de la protection (j)**	**Probabilité de guérison**	**Risque relatif d'effet de protection**	**Durée de la protection (j)**
StaphA	0.45	0.00	0	0.65	0.589	72
StreptU	0.70	0.00	0	0.92	0.586	72
G-	0.95	0.00	0	1.00	0.895	72
CNS	0.85	0.00	0	0.95	0.943	72
CB	0.90	0.00	0	1.00	0.781	72

Tableau 56 : Valeurs par défaut du plan de traitement des mammites en fonction de la période et de la bactérie

Le contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) permet d'améliorer de 5% le taux de réussite des traitements de mammites prodigués lors de la période de lactation.

Le coût des traitements est paramétré dans le module comptable (*cf.* § *2.2.7.1.3 Santé*).

2.2.3.1.2.5 Facteur de prévention des mammites au niveau de la vache

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la prévention des mammites (valeur entre 1.0 et 2.0) ou de la réduire (valeur entre 0.2 et 1.0), elle permet de faire intervenir l'effet individuel des facteurs de conduite d'élevage qui exercent une influence sur l'incidence mais ne sont pas explicitement représentés (*cf.* § *2.2.3.1.1.2.2.1 Modulation individuelle du risque d'incidence*). Par défaut, la valeur est à 1.0.

Nota : Lorsqu'un contrat de soins vétérinaires est en cours, un coût annuel forfaitaire de la prévention mammite sur une vache est ajouté en fin d'exercice sur la base du nombre moyen de vaches adultes présentes (voir Tableau 134 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la santé et Tableau 140 : Structure des données relatives au bilan économique exprimées en euros).

2.2.3.1.2.6 Facteur de prévention des mammites au niveau du troupeau

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la prévention des mammites (valeur entre 1.0 et 2.0) ou de la réduire (valeur entre 0.2 et 1.0), elle permet de faire intervenir l'effet troupeau des facteurs de conduite d'élevage qui exercent une influence sur l'incidence mais ne sont pas explicitement représentés (*cf.* § *2.2.3.1.1.2.2.2 Modulation du risque d'incidence liée à la conduite du troupeau*). Par défaut, la valeur est à 1.0

Les effets de ce paramètre peuvent être modulés en fonction des conditions contractuelles de soins vétérinaires. En effet, s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*), le contrat de soins vétérinaires permet d'améliorer avec le temps la prévention des mammites au niveau du troupeau. Ce niveau de prévention est alors modulé pour être amélioré de 25% au bout de 24 mois, et également de 25% au bout de 42 mois. Cette modulation permet d'obtenir les niveaux d'incidence clinique suivants (Beaugrand, données personnelles) :

Nombre de mois effectifs de contrat de soins vétérinaires	**Incidence clinique obtenue en fonction de la prévention paramétrée**		
	0.4	**1.0**	**1.7**
0	76.5%	35%	22.7%
24	61%	26.4%	13.6%
42	46%	21%	11.3%

Tableau 57 : Incidence clinique des mammites obtenue avec le contrat de soins vétérinaires en fonction de la prévention paramétrée et de l'ancienneté effective du contrat

Pour les valeurs intermédiaires de prévention paramétrée, le progrès est pondéré. Pour les valeurs marginales, elles reprennent le niveau de progression modélisé le plus proche.

2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires

Une option de conduite permet de simuler l'adhésion à un contrat de soins vétérinaires dont les effets interviennent sur les mammites (et également sur les autres maladies modélisées), en termes de prévention, détection, délai d'intervention et guérison. Ce contrat occasionne également des visites préventives planifiées au nombre de deux par mois la première année du contrat, puis une par mois les années suivantes (cette visite occasionne également une activité planifiée pour l'éleveur). Le nombre de visites réalisées figure dans les résultats produits (cf. § *2.2.3.6 Données générales de santé produites*).

Par ailleurs, le contrat de soins vétérinaires contribue également à diminuer la mortalité pouvant être due aux maladies non modélisées (cf. § *2.2.5.1.1.3 Mortalité*).

En matière de facturation, trois formules sont paramétrables :

- en fonction du nombre moyen de vaches présentes lors de la campagne précédente,
- en fonction du nombre moyen des vêlages de la campagne précédente,
- en fonction de la quantité de lait livré lors de la campagne précédente (aux 1000 litres).

Techniquement, la mise en œuvre du contrat de soins vétérinaires débute au moment où la simulation produit des résultats (c'est-à-dire après la période de chauffe du simulateur), elle n'est pas retenue par défaut.

2.2.3.1.3 Données spécifiques produites relatives aux IIM

Les données techniques générales relatives aux IIM sont systématiquement produites, elles sont décrites dans les chapitres *2.2.3.6 Données générales de santé produites*. Les données spécifiques décrites ci-dessous sont l'estimation de la santé des mamelles, elles sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur :

Nom du résultat : « AnnualMastitisResults »

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée permet de connaitre la santé mammaire du troupeau, sur la base de l'observation de mammites cliniques détectées et de la moyenne des vaches présentes.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	**Format**	**Valeur**
Clinical_mastitis_per_100_cows	integer	Nombre de cas cliniques survenus pour 100 vaches présentes (*)
First_clinical_mastitis_per_100_cows	integer	Nombre de premiers cas cliniques pour une lactation d'une vache survenus pour 100 vaches présentes
Herd_SCC	integer	Moyenne de la CCS (1000 cellules / ml) (**)
Under_300_SCC_per_100_controls	integer	Pourcentage de contrôles de la CCS ne dépassant pas 300 000 cellules / ml (***)
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 58 : Structure des données relatives aux résultats annuels des mammites cliniques

(*) Les mammites de gravité G1 (théoriquement cliniques) qui n'ont pas été détectées ne sont pas comptabilisées ici.

(**) Moyenne des CCS relevées lors des contrôles laitiers mensuels.

(***) Relevés lors des contrôles laitiers mensuels.

2.2.3.2 Cétose (ou acétonémie)

La cétose est une maladie métabolique qui reflète un déficit énergétique. Elle s'accompagne d'une acétonémie qui est l'augmentation de la concentration sanguine en corps cétoniques (Vincent, 2019). Les cas de cétose ont des effets sur différents aspects de la vie et de la production de la vache. Ces effets peuvent aller jusqu'à la réforme ou même la mort de l'animal. Différentes options permettent d'en accroitre la détection, ce qui offre l'opportunité d'en améliorer la prise en compte sanitaire.

2.2.3.2.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la cétose

Le présent chapitre a pour but de décrire la cétose, son incidence, la détection des cas ainsi que leur évolution.

2.2.3.2.1.1 Description de la cétose

L'occurrence d'une cétose se traduit chez la vache par l'apparition de phénomènes physiologiques spécifiques et observables dans certaines conditions. Elle est également à l'origine de conséquences zootechniques.

2.2.3.2.1.1.1 Niveaux de gravité de la cétose

Outre la manifestation externe de ses effets lorsqu'elle se présente sous sa forme clinique, la cétose, dès sa forme subclinique, provoque chez la vache une augmentation du taux de Béta-HydroxyButyrate (BHB) et d'acétone dans son lait, interprétable par des systèmes experts dès lors qu'ils sont mis en œuvre.

Le seuil de BHB sanguin généralement retenu pour détecter une vache laitière atteinte de cétose subclinique correspond à une concentration supérieure à 1,2 mmol/L (Benedet *et al.*, 2019).

Trois niveaux de gravité sont retenus vis-à-vis de la maladie :

Gravité	Définition
G0	Statut sain vis-à-vis de la cétose
G1	Vache en cétose subclinique
G2	Vache en cétose clinique

Tableau 59 : Niveaux de gravité de la cétose

2.2.3.2.1.1.2 Conséquences zootechniques d'une cétose

Les cas de cétose ont un effet sur la reproduction, la production et la sensibilité aux autres maladies, et donc sur la décision de réforme et la mortalité. L'effet comptable du changement de comportement alimentaire induit par l'apparition d'une cétose n'étant pas significatif, il n'est pas simulé.

2.2.3.2.1.1.2.1 Effet d'une cétose sur les performances de reproduction

L'occurrence d'une cétose perturbe le cycle de reproduction, en influant sur la reprise de l'activité ovarienne, la sensibilité de détection des chaleurs et la fertilité et *in fine* sur la fécondité. Pour information, les données robustes de la littérature nous donnent les impacts suivants sur la fécondité :

Effet	Gravité	Impact	Référence
Allongement de l'intervalle IA 1 – IA f (jours)	G1 non traitée	+ 11	Adapté d'après (Fourichon, Seegers et Malher, 2000) et (Raboisson *et al.*, 2015)
	G2 traitée	+ 5,5	
Allongement de l'intervalle vêlage-vêlage (jours)	G1 non traitée	+ 21	(Raboisson *et al.*, 2015)
	G2 traitée	+ 8	Adapté d'après (Fourichon, Seegers et Malher, 2000)

Tableau 60 : Impacts de la cétose sur la fécondité

Seuls les impacts sur la reprise de l'activité ovarienne, sur la sensibilité de détection des chaleurs et sur la fertilité sont représentés et simulés.

2.2.3.2.1.1.2.1.1 Effet d'une cétose sur la sensibilité de détection des chaleurs

L'impact d'une cétose sur la détection des chaleurs est lié à une moindre expression du comportement associé à l'œstrus par la vache (Rutherford, Oikonomou et Smith, 2016). Il est négligé dans le modèle car estimé non significatif sur l'effet global de la cétose sur la reproduction.

2.2.3.2.1.1.2.1.2 Effet d'une cétose sur la fertilité

La fertilité est perturbée lorsque la vache a subi une cétose (*cf.* § *2.2.1.1.4.4.3 Effets de la cétose sur la fertilité*). Le risque relatif d'échec à l'insémination est de 1,66 lorsque la vache a été atteinte d'une cétose subclinique (Raboisson, Mounié et Maigné, 2014) au cours de la lactation. Pour autant, si la vache a subi moins de 30 jours de cétose dans son début de lactation, qu'un traitement de cétose subclinique a été prodigué et qu'il a été efficace, ce risque relatif d'échec est ramené à 1,3.

Afin de rester dans le cadre général du *Tableau 9 : Taux de fertilité de base (ne tenant pas compte des effets néfastes de certains facteurs) selon les modes de fécondation* du chapitre *2.2.1.1.4.2 Fertilité – valeurs de base*, une pondération du risque est réalisée pour les vaches concernées par un cas de cétose lors de l'insémination ainsi que pour les vaches qui ne le sont pas.

En conséquence, une cétose survenue lors de la lactation aura pour effet mécanique d'allonger la durée de l'intervalle vêlage – insémination fécondante (IVIAF).

2.2.3.2.1.1.2.1.3 Effet d'une cétose sur la reprise d'activité ovarienne

La reprise d'activité ovarienne peut être modifiée si la vache souffre d'une cétose post-partum (*cf.* § *2.2.1.1.7.2 Cas du vêlage*). Le premier œstrus est retardé de 9 jours lorsque la vache a eu au moins un épisode de cétose subclinique depuis le vêlage (Rutherford, Oikonomou et Smith, 2016). Il est admis que cela s'applique également pour les cas de cétose clinique. En simulation, cela se traduit pour le premier œstrus post-partum par une répartition pondérée de jours supplémentaires dus aux cas de cétoses et de jours en moins du fait de l'absence de cétose pour obtenir en proportion et d'une manière globale les résultats du *Tableau 15 : Reprise de cyclicité post-partum selon la race et la parité* du chapitre *2.2.1.1.7.2 Cas du vêlage*.

Par ailleurs, en cas de cétose lors de la dernière lactation, on peut considérer qu'il y a des interruptions de cyclicité après le 1er cycle, le risque associé est de 0.67 (Shin *et al.*, 2015). Pour prendre en compte ce cas dans le simulateur, le risque d'interruption de cycle entre l'ovulation post-partum de cycle standard et l'ovulation suivante est accru lorsque la vache est concernée par une cétose survenue depuis le vêlage. A l'inverse, une diminution proportionnée de ce risque est calculée lorsque la vache n'a pas rencontré de cas de cétose. En conséquence, une cétose survenue lors de la lactation pourra avoir pour effet d'allonger la durée de l'intervalle vêlage - première insémination (IVIA1).

2.2.3.2.1.1.2.2 Effet d'une cétose sur les performances de production laitière

La cétose a un effet sur la production laitière (*cf.* § *2.2.2.1.2.10 Effet de la cétose sur la production laitière*) qui est fonction du niveau de production de la vache et de la gravité de la cétose. Les effets sont simulés de la manière suivante :

Gravité	Caractéristique impactée	Effet sur la production laitière		Référence
		Différence	Durée d'impact	
G1	Quantité	-1.12%	55 jours (*)	Adapté d'après (Raboisson, Mounié et Maigné, 2014) et (Bareille *et al.*, 2003)
	TB	+1g/kg	Durée de la maladie (§ 2.2.3.2.1.4.1)	(Vanholder *et al.*, 2015)
	TP	-1g/kg		
G2	Quantité	-2.01%	55 jours (*)	Adapté d'après (Raboisson, Mounié et Maigné, 2014) et (Bareille *et al.*, 2003)
	TB	+3.1g/kg	Durée de la maladie (§ 2.2.3.2.1.4.1)	(Vanholder *et al.*, 2015)
	TP	-2.2g/kg		

Tableau 61 : Effet sur la production laitière en fonction du niveau de gravité de la cétose par rapport aux vaches saines (G0)

(*) l'effet sur la production perdure, même si la cétose a fait l'objet d'une guérison.

En ce qui concerne la répartition de la perte journalière de quantité de lait, elle suit une courbe sinusoïdale (d'angle $\pi/2$). L'exemple de graphique suivant permet de représenter la perte journalière à l'apparition à J0 de cétoses G1 et G2 pour une vache produisant 10000 kg de lait par lactation 305 jours :

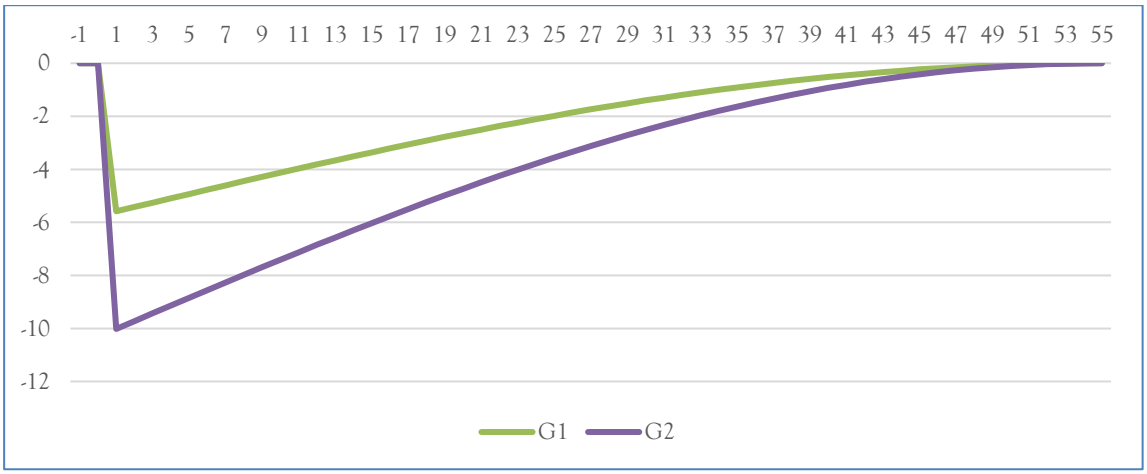


Figure 18 : Répartition des pertes de quantité de lait (Kg) sur 55 jours pour une vache produisant 10000 kg de lait au cours d'une lactation 305 jours

2.2.3.2.1.1.2.3 Impact sur l'alimentation

Du fait de la réduction de la quantité de lait produite en cas de cétose, la consommation d'aliment est diminuée selon la modalité suivante : une diminution de 2 kg de lait occasionne une baisse de consommation d'1 kg (réparti proportionnellement entre le fourrage et le concentré).

2.2.3.2.1.1.2.4 Effet d'une cétose sur la sensibilité aux autres maladies

La cétose a un effet sur la sensibilité à d'autres maladies. Les maladies considérées dans DHM sont les infections intra-mammaires (*cf. § 2.2.3.1.1.2.2.1.7 Modulation de l'incidence des mammites liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie*) et les boiteries (cf. § *2.2.3.3.1.2.2.1.4 Modulation de l'incidence de la boiterie liée à la concurrence d'autres maladies*). Les déplacements de caillette n'étant pas simulés, l'effet d'une cétose sur ceux-ci n'est pas pris en compte.

2.2.3.2.1.1.2.5 Réforme et mortalité liées à une cétose

Lorsqu'une vache développe une cétose, elle est soumise à un risque direct et indirect de mortalité et de réforme.

Pour le risque de réforme, les causes directement liées à la cétose sont négligeables devant la fréquence des causes indirectes pour mauvaises performances reproductives ou pour boiteries. Le simulateur prenant déjà en compte les réformes liées aux trouble de santé, seul le risque de létalité est donc représenté ici :

		Rang de lactation				Référence
		1	2	3	≥4	
Pourcentage de létalité	**G1**	0%	0,63%			Utilisé par d'après (McArt, Nydam et Overton, 2015) et (McArt, Nydam et Oetzel, 2012b) ; (Roberts *et al.*, 2012)
	G2	0%	0,7%	1,7%	2,5%	Utilisé par (Mostert *et al.*, 2017) ; d'après (Bar *et al.*, 2008)

Tableau 62 : Pourcentage de létalité pour un épisode de cétose en fonction de sa gravité et du rang de lactation de la vache touchée

Ce risque est pris en compte par une pondération du risque de base identifié dans le *Tableau 120 : Risque de mortalité des individus* du paragraphe *2.2.5.1.1.3 Mortalité*.

2.2.3.2.1.2 Incidence

L'incidence revêt deux dimensions : l'incidence de base partant d'une conduite et d'une alimentation standard ne provoquant que des cas spontanés, et une modulation permettant d'intégrer des éléments

complémentaires et des conditions de conduite pouvant favoriser l'apparition de cas supplémentaires (ou le cas échéant de réduire l'incidence de base).

2.2.3.2.1.2.1 Incidence de base

L'incidence de base est à déterminer pour une alimentation standard et des méthodes de prévention nominales. Elle traduit donc uniquement l'apparition spontanée de la maladie dans le troupeau. Etant donné l'absence d'éléments épidémiologiques concernant la cétose clinique dans la littérature, celle-ci sera décrite comme une aggravation d'une cétose subclinique (*cf.* § *2.2.3.2.1.4 Evolution et guérison d'une cétose*). Ainsi, seule l'incidence de base des cétoses subcliniques est décrite ici.

Les cétoses sont observées principalement pendant les deux premiers mois de lactation (Duffield, 2000).

La plupart des études décrivent la prévalence de la cétose subclinique pendant les deux premières semaines de lactation ou pendant le premier mois de lactation. Une prévalence située autour de 20% pendant les deux premières semaines de lactation a été décrite sur un large nombre de troupeaux en Amérique du Nord (Duffield *et al.*, 2009), ainsi qu'en Europe (Suthar *et al.*, 2013). Le même niveau de prévalence de 20% a été décrit, cette fois pendant le premier mois de lactation, au Canada (Santschi *et al.*, 2016), (Tatone *et al.*, 2017). A partir du deuxième mois de lactation, la prévalence des cétoses retombe en dessous de 10% d'après (van der Drift *et al.*, 2012).

La prévalence prend en compte à la fois la durée d'évolution de la cétose et les récidives de cétose pour une même lactation. Cependant, aucune étude n'estime clairement le taux de récidive des cétoses.

L'incidence, définie comme le pourcentage de lactations touchées pour la première fois dans un intervalle de temps donné, est peu décrite dans la littérature car cela nécessite des mesures répétées dans le temps sur un même échantillon de vaches. L'étude de (McArt, Nydam et Oetzel, 2012a) montre une incidence lactationnelle de 43,2% entre 3 et 16 jours post-partum dans 4 grands troupeaux américains. (Kaufman *et al.*, 2016) trouve une incidence similaire (44%) sur 4 troupeaux canadiens. Ainsi, pour une lactation, l'incidence de base par race de la cétose subclinique est la suivante :

	Incidence de base
Montbéliarde	35%
Normande	25%
Prim'Holstein	45%

Tableau 63 : Incidence de base de la cétose subclinique par race

La courbe d'incidence de la cétose subclinique en fonction du stade de lactation mise en œuvre par le simulateur est la suivante :

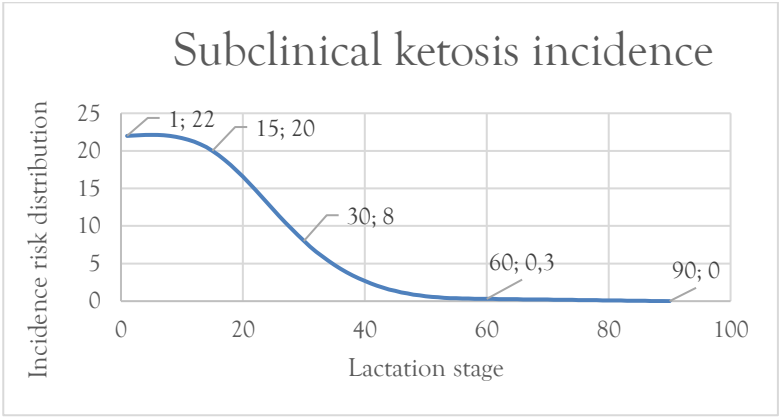


Figure 19: Courbe d'incidence de la cétose subclinique en fonction du stade de lactation

2.2.3.2.1.2.2 Modulation du risque d'incidence

Le risque d'incidence des cétoses peut être modulé en fonction de situations propres à chaque individu et aux conditions d'élevage.

2.2.3.2.1.2.2.1 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la génétique

Plusieurs auteurs décrivent le taux de BHB dans le lait ou dans le sang comme des caractères héritables.

Les paramètres génétiques du caractère « BHBlait » sont donc pris en compte dans le simulateur afin de représenter la modulation d'incidence de la cétose G1.

L'index « BHBlait » approxime le risque, lié à la génétique, de cétose subclinique pour une vache qui traverse la période à risque de la maladie définie.

Ce caractère est quantitatif mais pour le besoin de la modélisation, il sera implémenté comme un caractère qualitatif de risque vis-à-vis de G1 dans le chapitre *2.2.4 Génétique*.

2.2.3.2.1.2.2.2 Modulation de l'incidence de la cétose liée au rang de lactation

Le rang de lactation d'une vache détermine sa probabilité de développer une cétose dans les deux mois après son vêlage. Le risque relatif présenté ici prend en compte à la fois l'effet propre de l'âge, et l'effet lié au fait qu'une vache produit plus de lait lorsque son rang de lactation augmente et est donc plus à risque vis-à-vis de la cétose.

	Rang de lactation			**Référence**
	1	**2**	**≥3**	
Risque relatif	0,8	1	1,6	Adapté d'après (Tatone *et al.*, 2017), (Santschi *et al.*, 2016)

Tableau 64 : Risque relatif de survenue d'une cétose en fonction du rang de lactation

2.2.3.2.1.2.2.3 Modulation de l'incidence de la cétose liée au niveau de production

Le niveau de production laitière de la vache influence son risque de développer une cétose : plus la vache est une haute productrice, plus elle est sensible. Cependant, comme le potentiel de production laitière d'une vache est lié à sa génétique et à sa parité, cet effet n'est pas représenté ici afin d'éviter une double prise en compte.

2.2.3.2.1.2.2.4 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la saison

Plusieurs études notent une influence de la saison sur l'incidence des cétoses (Berge et Vertenten, 2014) ; (Tatone *et al.*, 2017) ; (Vanholder *et al.*, 2015) ; (Santschi *et al.*, 2016) mais elles n'ont pas de données significatives sur toutes les périodes de l'année. Il semblerait y avoir plus de cétoses au printemps qu'en été et en automne, sans consensus sur ce qui se passe en hiver. Les explications biologiques avancées par les auteurs sont hypothétiques mais elles résident à priori dans le management et l'alimentation du troupeau. (Vanholder *et al.*, 2015) pense que les ensilages consommés en fin d'hiver sont les plus vieux et donc à risque vis-à-vis du développement d'acide butyrique, ce qui favoriserait la cétose.

Compte tenu de ces incertitudes, l'effet de la saison sur l'incidence des cétoses n'est pas pris en compte.

2.2.3.2.1.2.2.5 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie

Le risque de cétose subclinique peut être augmenté si la vache présente ou a présenté des épisodes de maladie. Actuellement seules les mammites sont prises en compte dans le simulateur, de la manière suivante :

	Risque	**Temporalité du risque**	**Référence**
Mammite clinique	1,9 (OR)	Rencontrée depuis le début de la lactation courante	(Gröhn *et al.*, 1989)
Boiterie	1,7 (RR)	Concomitant à la maladie	(Peeler, Otte et Esslemont, 1994)

Tableau 65 : Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie

L'effet de l'antécédent de cétose est pris en compte dans la détermination de la probabilité d'aggravation décrite au paragraphe *2.2.3.2.1.4.2 Aggravation d'un épisode de cétose subclinique*.

2.2.3.2.1.2.2.6 Modulation de l'incidence de la cétose, chez les multipares, liée à la durée de la lactation précédente

Les vaches présentant un état d'engraissement modéré à élevé avant leur vêlage ont plus de risques de développer une cétose dans le début de leur lactation, à cause d'une mobilisation rapide et massive des graisses accumulées. C'est pourquoi les vaches du troupeau ayant du retard à la mise à la reproduction, dont la lactation ou le tarissement ont été allongés sont indirectement à risque car elles ont bénéficié d'une balance

énergétique positive pendant une période plus longue, ce qui leur a permis d'augmenter significativement leur état d'engraissement.

Les risques associés à la durée de l'intervalle vêlage-vêlage, adapté d'après (Tatone *et al.*, 2017), sont les suivants :

Intervalle vêlage-vêlage	**12-13 mois**	**14-15 mois**	**>15 mois**
Risque de cétose au début de la lactation suivante (OR)	0,86	1	1,4

Tableau 66 : Risque de cétose en fonction de l'intervalle vêlage-vêlage

2.2.3.2.1.2.2.7 Modulation de l'incidence de la cétose, chez les primipares, liée à l'âge au premier vêlage

De la même manière, les génisses présentant un état d'engraissement modéré à élevé avant leur vêlage ont plus de risques de développer une cétose dans le début de leur première lactation. C'est pourquoi les génisses du troupeau ayant un âge au premier vêlage plus avancé présentent un risque supplémentaire vis-à-vis de la cétose d'après (Tatone *et al.*, 2017) (OR = 1,41 pour un vêlage entre 25 et 33 mois, par rapport à un vêlage avant 25 mois chez les Prim'Holstein). Cependant cette observation dépend de l'objectif de croissance du pré-troupeau en fonction de la race et du système d'élevage considéré. Ainsi, ce risque pourrait être significatif pour les génisses ayant un fort retard d'insémination, ce qui peut se présenter lors des conduites d'élevage à vêlages groupés. Ce risque n'est pour l'heure pas implémenté dans le simulateur, il sera dimensionné et modélisé sur la base de l'analyse des premiers résultats obtenus par comparaison des différents types de conduite.

2.2.3.2.1.2.2.8 Modulation de l'incidence de la cétose l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®)

D'après la méta-analyse de (Duffield, Rabiee et Lean, 2008), l'utilisation préventive de bolus de monensin au cours du tarissement est associée à une diminution du risque de cétose clinique de 0,75 lors de la prochaine lactation. Si cette option est retenue, la prise est réalisée à 30 jours de la date prévue du prochain vêlage et son effet perdure durant les 95 jours qui suivent. Le choix de l'utilisation de ce traitement préventif fait l'objet du paramètre défini au paragraphe *2.2.3.2.2.1.2 Prévention par l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®).*

2.2.3.2.1.3 Détection des cas de cétose

Sous sa forme clinique, la cétose provoque des phénomènes systématiquement observables de manière externe (amaigrissement, baisse du niveau de production, comportement alimentaire, constipation, haleine caractéristique, troubles nerveux, ...). La détection d'une cétose sous forme subclinique nécessiterait quant à elle la mise en œuvre de moyens spécifiques.

2.2.3.2.1.3.1 Cétose subclinique

Deux méthodes peuvent être mises en œuvre pour estimer le niveau de risque cétose qui conduira l'éleveur à engager l'action sanitaire liée à la détection d'une cétose subclinique : les méthodes Cetodetect ® et Herd Navigator ®. Le recours à ces outils de détection est paramétrable selon les modalités définies au paragraphe 2.2.3.2.2.2 *Options de détection*.

Lorsqu'une cétose subclinique a été détectée, la vache bénéficie du traitement adapté pour les cétoses de gravité G1 (*cf.* § *2.2.3.2.2.3 Plan de traitement*), même dans le cas d'un faux positif. Il serait alors sans effet curatif mais pourrait néanmoins être protecteur le cas échéant.

2.2.3.2.1.3.1.1 Cetodetect ®

Méthode optionnelle permettant de quantifier le risque de cétose mensuellement lors du contrôle laitier par un dosage du BHB et d'acétone dans le lait, associé à d'autres données zootechniques selon des modalités qui ne sont pas connues (Vincent, 2019). Si les cas de cétose cliniques sont systématiquement détectés par l'éleveur, le recours à l'option Cetodetect ® est intéressante pour la détection des cas subcliniques. Ainsi, si ce système est mis en œuvre (occasionnant des frais, *cf.* § *2.2.7.1.7 Autres éléments comptables*), un cas de cétose subclinique (G1) pourra être détecté sur un prélèvement ponctuel analysé lors du contrôle laitier mensuel, dans les conditions suivantes (Vincent, 2019) :

Sensibilité	91%
Spécificité	88%

Tableau 67 : Sensibilité et spécificité du test Cetodetect ®

L'erreur de spécificité ne peut intervenir que pendant la période à risque de cétose.

2.2.3.2.1.3.1.2 Herd Navigator ®

Cet outil dont l'emploi est optionnel permet l'analyse précise du lait de chaque vache, tous les 3 jours de traite, et de concevoir un plan d'action en fonction des résultats obtenus. La détection des cas de cétose passe par un dosage du BHB associé à d'autres données zootechniques selon des modalités qui ne sont pas connues. L'outil n'attribue pas de note, il alerte l'éleveur lorsque le niveau significatif de risque est atteint. On admet donc qu'avec cet outil, une vache atteinte de cétose aura forcément un dosage de BHB dans son lait. Les données de sensibilité et de spécificité n'ont pas été communiquées par l'entreprise, cependant celles d'une analyse biochimique avec lecture optique sont respectivement de 86% et 82% (Vincent, 2019). On peut supposer que l'algorithme du Herd Navigator® optimise les résultats de sensibilité et de spécificité afin d'atteindre à minima ceux de l'outil Cetodetect®, c'est ce qui est mis en œuvre par le simulateur.

Le coût de l'investissement initial dans cet outil n'est pas pris en compte dans les données comptables de simulation. Pour ce qui est du coût de fonctionnement, il est défini au paragraphe *2.2.7.1.7 Autres éléments comptables*, il intègre le dosage de la progestérone et du LDH dans le lait.

2.2.3.2.1.3.1.3 Prise de sang

Cette méthode n'est mise en œuvre que dans le cas où un contrat reproduction a été conclu avec un vétérinaire (cf. § *2.2.3 Santé*), elle ne donne pas lieu à facturation. Elle consiste à réaliser une prise de sang le 15 du mois pour toute vache ayant vêlé le mois précédent. Ainsi, un cas de cétose subclinique (G1) pourra être détecté dans les conditions suivantes (Macmillan *et al.*, 2017) :

Sensibilité	98%
Spécificité	95%

Tableau 68 : Sensibilité et spécificité du test de sang pour le dépistage des cétoses

2.2.3.2.1.3.2 Cétose clinique (détectée)

Les cas de cétose cliniques sont ceux détectés (par l'éleveur lui-même ou par les options de détection retenues, avec un effet de la sensibilité de détection et de confirmation par le vétérinaire négligeable), sur la base des signes remarqués au quotidien lors de ses actions de conduite sans mise en œuvre de moyens de détection autres que sa propre perception. Ces cas conduisent systématiquement à la prise du traitement adapté pour les cétoses de gravité G2 dont le plan est défini au paragraphe *2.2.3.2.2.3 Plan de traitement*.

2.2.3.2.1.4 Evolution et guérison d'une cétose

La dynamique d'évolution de la maladie est définie selon le modèle suivant :

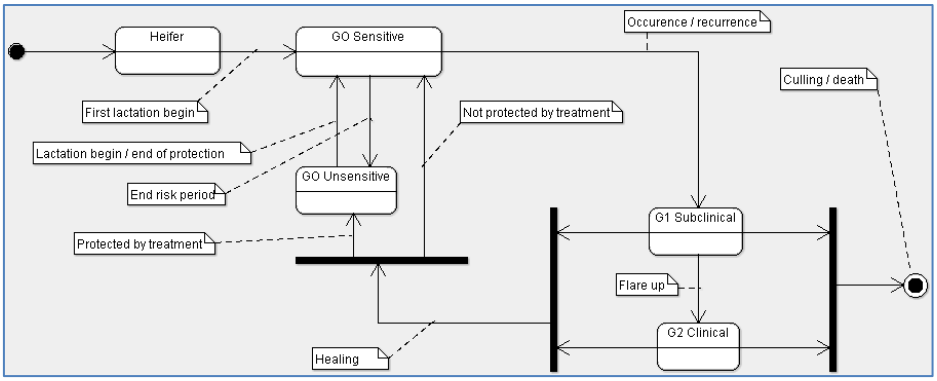


Figure 20 : Dynamique d'évolution des cétoses

Le principe mis en œuvre par le simulateur est de déclencher, lorsque les conditions sont réunies (âge de l'animal, périodes à risque, ...) et de manière stochastique à partir de l'incidence décrite au paragraphe *2.2.3.2.1.2 Incidence*, un cas de cétose subclinique qui, en fonction des éléments en jeu, guérira spontanément

ou avec la prise d'un ou plusieurs traitements, s'aggravera (devenant ainsi un cas de cétose clinique), ou conduira à la réforme voire la mort.

2.2.3.2.1.4.1 Durée d'une cétose

D'après les observations sur 16 jours de (McArt, Nydam et Oetzel, 2012a), une cétose subclinique évolue sur une durée comprise entre 2 et 14 jours, avec une médiane comprise entre 4 et 5 jours. Environ 85% des cas sont résolus au bout de 14 jours. La durée d'une cétose subclinique mise en œuvre par le simulateur varie donc dans le temps selon une loi triangulaire entre 2 et 20 jours avec pic à 5 jours.

Pour ce qui est de la cétose clinique, il est convenu qu'elle dure 5 jours.

2.2.3.2.1.4.2 Aggravation d'un épisode de cétose subclinique

Le risque d'aggravation d'une cétose subclinique G1 en cétose clinique G2 est de 5% pour une vache primipare et de 7% pour une vache multipare (McArt, Nydam et Overton, 2015). Ce risque est multiplié par 3 lorsque la vache a vécu au moins un épisode de cétose lors de la lactation précédente (Østergaard, Sørensen et Houe, 2003). Une aggravation survient à l'issue de la durée initialement prévue de l'épisode (voir paragraphe ci-dessus).

2.2.3.2.1.4.3 Détection d'un cas de cétose clinique, traitement

Si les cas de cétose clinique sont systématiquement détectés par l'éleveur, ceux de cétose subclinique ne peuvent l'être que par la mise en œuvre de moyens spécifiques (*cf.* § *2.2.3.2.1.3 Détection des cas de cétose*). Ils donnent alors lieu à un ou plusieurs traitements dans les conditions prévues au paragraphe *2.2.3.2.2.3 Plan de traitement*. Dans le cas d'une cétose subclinique, si le traitement prodigué n'a pas été efficace, il aura toutefois l'avantage de réduire d'un jour la durée initialement prévue. Dans le cas d'une cétose clinique, si le premier traitement n'a pas été efficace, la vache se voit administrer un second traitement dont le taux de réussite sera alors de 100%.

2.2.3.2.1.4.4 Récidive d'une cétose

Deux jours après la fin d'un épisode, la vache est de nouveau sensible à la cétose si elle est encore dans la période à risque, qu'elle ait été traitée ou non. D'après les données de (Bareille *et al.*, 2003), environ 40% des vaches touchées présentent une récidive (modalités : N = 1050 VL en ferme expérimentale, définition de la cétose comme « vache dont la production laitière et l'ingestion baissent entre 1 semaine et 1 mois de lactation, ayant une réponse favorable à l'administration de propylène glycol »). En simulation, les cas de récidive sont déclenchés en tenant compte de cette probabilité, pondérée de la valeur génétique de l'index BHBlait de la vache. Pouvant être consécutifs, ils sont déclenchés en moyenne 15 jours après le premier jour de la période de sensibilité suivant le cas de cétose subclinique (distribution normale avec un écart type de 5).

2.2.3.2.2 Paramètres de conduite d'élevage relatif à la cétose

Le paramétrage du simulateur permet de définir le facteur global de prévention, les options de détection et le plan de traitement.

2.2.3.2.2.1 Facteurs de prévention

Des liens significatifs sont observés entre le niveau de production laitière d'un élevage par rapport à un autre élevage, et la prévalence des cétoses au sein de ces élevages (Tatone *et al.*, 2017). Cependant ces liens sont des tendances liées à des effets indirects, car d'un élevage à un autre, la différence du niveau de production est expliquée par une multitude de facteurs qui influencent directement le niveau de prévalence de la cétose (efficacité de la reproduction, conduite alimentaire des génisses, des vaches au tarissement, des vaches en début de lactation, niveau génétique du troupeau, etc...), certains de ces facteurs sont déjà pris en compte. C'est pourquoi, cette modulation d'incidence en fonction du niveau de production du troupeau n'est pas développée dans le simulateur.

2.2.3.2.2.1.1 Facteur global de prévention

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la prévention des cétoses (valeur entre 1.0 et 2.0) ou de la réduire (valeur entre 0.2 et 1.0), elle permet de faire intervenir l'effet de facteurs de conduite d'élevage qui

exercent une influence sur l'incidence mais ne sont pas explicitement représentés (*cf.* § *2.2.3.2.1.2.2 Modulation du risque*). C'est le cas par exemple de la prévention liée à la gestion du tarissement, au système fourrager et au mode de vie. Par défaut, la valeur est à 1.0.

Les effets de ce paramètre peuvent être modulés en fonction des conditions contractuelles de soins vétérinaires. En effet, s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*), le contrat de soins vétérinaires permet d'améliorer avec le temps la prévention des cétoses au niveau du troupeau. Ce niveau de prévention est alors amélioré de 25% jusqu'à 24 mois, et également 25% jusqu'à 42 mois, permettant d'obtenir les niveaux d'incidence clinique suivants (Beaugrand, données personnelles) :

Nombre de mois effectifs de contrat de soins vétérinaires	**Incidence clinique obtenue en fonction de la prévention paramétrée** (cf. § *2.2.3.2.2.1.1 Facteur global de prévention*)		
	0.4	**1.0**	**1.7**
0	27.2%	14.1%	7.5%
24	22.8%	10.6%	5.2%
42	16.9%	7.6%	4.3%

Tableau 69 : Incidence clinique des cétoses obtenue avec le contrat de soins vétérinaires en fonction de la prévention paramétrée et de l'ancienneté effective du contrat

Pour les valeurs intermédiaires de prévention paramétrée, le progrès est pondéré. Pour les valeurs marginales, elles reprennent le niveau de progression modélisé le plus proche.

Nota : Lorsqu'un contrat de soins vétérinaires est en cours, un coût annuel forfaitaire de la prévention cétose sur une vache est ajouté en fin d'exercice sur la base du nombre moyen de vaches adultes présentes (voir Tableau 134 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la santé et Tableau 140 : Structure des données relatives au bilan économique exprimées en euros).

2.2.3.2.2.1.2 Prévention par l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®)

L'option de l'emploi du traitement préventif à base de monensin en vue de diminuer l'incidence lors de la prochaine lactation est paramétrable (*cf.* § *2.2.3.2.1.2.2.8 Modulation de l'incidence de la cétose l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®)*). C'est une activité planifiée de l'éleveur (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*), elle n'est pas retenue par défaut.

2.2.3.2.2.2 Options de détection

Différentes options de détection sont proposées à l'expérimentateur.

2.2.3.2.2.2.1 Option Cetodetect ® du contrôle laitier

Le simulateur met en œuvre systématiquement le contrôle laitier mensuel.

L'option payante Cetodetect ® (*cf.* § *2.2.7.1.7 Autres éléments comptables*) est non retenue par défaut. Elle est toutefois imposée en cas de contrat de soins vétérinaires (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*).

2.2.3.2.2.2.2 Option Herd Navigator ® du robot de traite

Cette option occasionne un coût d'emploi (*cf.* § paragraphe *2.2.7.1.7 Autres éléments comptables 2.2.7.1 Paramètres comptables*), elle est non retenue par défaut.

2.2.3.2.2.3 Plan de traitement

Lorsqu'une cétose est détectée par l'éleveur, ce dernier prodigue un traitement. Le traitement recommandé de la cétose subclinique se base sur une administration orale par jour de 300 grammes de propylène glycol, pendant 5 jours (Gordon, LeBlanc et Duffield, 2013). Ce traitement réduit la durée d'évolution de la cétose d'une journée, et a des effets bénéfique sur le risque d'aggravation de la cétose subclinique en cétose clinique, ainsi que sur la fertilité et sur la production laitière (McArt *et al.*, 2011), (McArt, Nydam et Oetzel, 2012a).

Le traitement de la cétose clinique G2 est controversé selon l'origine étiologique majoritaire soupçonnée :

Cétose de type 1 : Hyperacétonémie liée à la mobilisation massive des corps cétoniques en vue de leur utilisation face à un déficit énergétique chez les vaches laitières hautes productrices au moment du pic de

lactation, sans stéatose hépatique associée. Cette forme de cétose apparaît généralement entre 3 et 6 semaines de lactation, elle est caractérisée par une hypoglycémie associée à une hypoinsulinémie (Vanholder *et al.*, 2015), (Douart, 2015). L'utilisation de glucocorticoïdes est ici indiquée car elle permet de relancer l'appétit et de favoriser la néoglucogénèse et donc l'utilisation des protéines par le foie comme substrat énergétique (Douart, 2015).

Cétose de type 2 : Hyperacétonémie exacerbée par un dysfonctionnement de l'adaptation hormonale du métabolisme à cause d'un phénomène de stéatose hépatique primitif. Cette cétose est caractérisée par une glycémie sub-normale associée à une hyperinsulinémie. La stéatose hépatique est favorisée par une mauvaise gestion de l'alimentation pendant la période de tarissement, et survient chez des animaux à fort état d'engraissement. Ce type de cétose apparaît en tout début de lactation (Douart, 2015), (Han van der Kolk *et al.*, 2017). L'utilisation des glucocorticoïdes est ici controversée car les glucocorticoïdes ont aussi un effet lipolytique qui risque théoriquement d'accentuer le phénomène de stéatose hépatique (Seifi *et al.*, 2007). Cependant, l'essai thérapeutique randomisé de (van der Drift *et al.*, 2015) n'a pas démontré d'effet lipolytique associé à l'utilisation de la dexaméthasone dans le cadre du traitement de la cétose clinique.

Nous considérons donc que le traitement de la cétose clinique est unique, car la limite entre ces deux tableaux étiologiques n'est pas toujours aussi distincte en pratique (seules des biopsies hépatiques permettraient de trier les cétoses de type 1 des cétoses de type 2 (Bobe, Young et Beitz, 2004)), car les éléments épidémiologiques distinguant les deux cétoses en élevage ne nous sont pas connus, et car la différence de traitement entre les deux est controversée. Ainsi, le plan de traitement par défaut, paramétrable, est le suivant :

	G1 Ketosis treatment	G2 Ketosis treatment
Nom	Propylène glycol PO 300g SID 5jours	500 ml glucose 30% IV lente Niacine (vitB3), carnitine, méthionine, vitB12, Cobalt
Délai avant effet (j)	5	0
Durée d'attente lait (j)	0	3
Probabilité de guérison	0,5	0,42
Risque relatif d'aggravation en G2	0,54	
Références	(McArt *et al.*, 2011) (McArt, Nydam et Oetzel, 2012a)	(Foster, 1988), (Douart, 2015), (van der Drift *et al.*, 2015)

Tableau 70 : Valeurs par défaut du plan de traitement de la cétose

Le traitement curatif des cétoses occasionne une activité non planifiée de l'éleveur, renforcée par la venue non planifiée du vétérinaire en cas de gravité G2 pour un soin à la vache (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*). Le contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) permet d'améliorer de 5% le taux de réussite des traitements prodigués contre les cas de cétose de gravité G2.

Il est à noter qu'aucun effet de protection n'est prévu pour les traitements contre la cétose. Le coût du traitement est paramétré dans le module comptable (*cf.* § *2.2.7.1.3 Santé*).

2.2.3.2.3 Données spécifiques produites relatives à la cétose

Les données techniques générales concernant les cas de cétose (clinique et non clinique) rencontrés dans le troupeau sont systématiquement produites, elles sont décrites dans les chapitres *2.2.3.6 Données générales de santé produites*. Les données spécifiques décrites ci-dessous sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur :

Nom du résultat : « AnnualKetosisResults »

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Clinical_ketosis_per_100_cows	integer	Nombre de cas cliniques traités pour 100 vaches présentes
First_subclinical_ketosis_per_100_cows	integer	Nombre de premiers cas subcliniques pour une lactation d'une vache survenus pour 100 vaches présentes
First_clinical_ketosis_per_100_cows	integer	Nombre de premiers cas cliniques pour une lactation d'une vache survenus pour 100 vaches présentes
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 71 : Structure des données relatives aux résultats annuels des cétoses subcliniques et cliniques

2.2.3.3 Boiterie

La boiterie est un signe clinique qui témoigne d'une douleur lorsque l'animal se déplace. Sauf accidents sporadiques, la boiterie est causée, chez les bovins, par des lésions du pied de différentes origines, infectieuses ou non. Les affections du pied ont donc un effet sur l'apparition d'une boiterie, qui elle-même a des impacts sur la vie productive de la vache. Différents paramètres d'élevage font varier le risque d'apparition et de persistance de boiteries.

2.2.3.3.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la boiterie

Le présent chapitre a pour but de décrire la boiterie et ses conséquences, son incidence, la détection des cas ainsi que leur évolution.

2.2.3.3.1.1 Description de la boiterie

L'occurrence d'une boiterie chez la vache peut être due à différentes lésions du pied et elle est à l'origine de conséquences zootechniques. Une vache peut être atteinte de lésion sur ses quatre pieds, mais ce sont plus souvent les postérieurs qui sont touchés. Il y a peu d'information sur le lien entre les lésions sur chacun des postérieurs d'une même vache mais souvent, les deux pieds sont atteints par des lésions identiques ou non et à des niveaux de gravité différents (Manske, Hultgren et Bergsten, 2002a). C'est pourquoi, nous ne représentons qu'un état globalisé des pieds de la vache.

De plus, nous considérons que c'est la boiterie qui est à l'origine des impacts techniques et économiques et non pas la présence d'une lésion. Cette dernière peut quand même affecter le comportement d'une vache au couchage alors que les vaches ne sont pas boiteuses (Berry *et al.*, 1998). De plus, seulement 21 % des vaches qui ont une lésion présentent une boiterie (van Huyssteen *et al.*, 2020).

2.2.3.3.1.1.1 Types de boiteries

Plusieurs lésions du pied sont à risque de provoquer une boiterie. Pour simplifier, elles sont représentées par 2 types :

Boiteries d'origine non infectieuse : Sont considérées comme boiteries d'origine non infectieuse, les ulcères de la sole, les bleimes et les lésions de la ligne blanche. Il s'agit de l'ensemble des maladies qui atteignent le sabot.

Boiteries d'origine infectieuse : La maladie de Mortellaro ou dermatite digitée, la maladie du Fourchet ou dermatite interdigitée, les hyperplasies interdigitées ou limaces, le panaris et l'abcès de sole sont d'origine infectieux. Ils atteignent la peau du pied des bovins. Ici nous ne prenons en considération que les dermatites.

Ces deux types de boiteries, pouvant être concomitants, sont gérés dans le simulateur par deux systèmes épidémiologiques différents.

2.2.3.3.1.1.2 Niveaux de gravité de la boiterie

Seules les formes cliniques sont représentées, avec 2 niveaux de gravité.

Gravité	Définition
G0	Statut sain vis-à-vis de la boiterie
G1	Boiterie légère à modérée
G2	Boiterie sévère

Tableau 72 : Niveaux de gravité de la boiterie

Ces 2 niveaux de gravité ont été distingués car dans la plupart des publications récentes, les boiteries sont gradées selon leur intensité avec des scores de locomotion qui varient selon plusieurs échelles : de 1 à 5 (Sprecher, Hostetler et Kaneene, 1997), de 1 à 3 (Walker *et al.*, 2008) et même de 0 à 3 (Barker *et al.*, 2010). Le score de locomotion le plus utilisé est l'échelle de 1 à 5. Dans ce cas, une vache peut être considérée boiteuse lorsque son score de locomotion est supérieur ou égale à 2 ou 3 en fonction des publications. De plus, les auteurs choisissent les scores qu'ils affectent aux boiteries légères à modérées et boiteries sévères.

2.2.3.3.1.1.3 Conséquences zootechniques d'une boiterie

Les cas de boiterie ont un effet sur la reproduction, la production laitière, l'alimentation et la sensibilité aux mammites et aux cétoses, voire sur la décision de réforme et la mortalité.

Etant donné qu'une vache peut être atteinte par les deux types de boiteries simultanément, la conséquence qui s'appliquera dans ce cas sera celle de la maladie ayant le plus fort impact sur l'effet considéré.

2.2.3.3.1.1.3.1 Effet d'une boiterie sur les performances de reproduction

L'occurrence d'une boiterie peut perturber le cycle de reproduction en influant sur la sensibilité de détection des chaleurs. La reprise de l'activité ovarienne et la fertilité sont aussi impactées mais ce sont une conséquence de la mauvaise détection des chaleurs d'une vache boiteuse.

2.2.3.3.1.1.3.1.1 Effet d'une boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs

Lorsqu'une boiterie touche la vache, sa sensibilité à la détection des chaleurs est immédiatement affectée (*cf.* § *2.2.1.1.2.3.4 Effet de la boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs*). En effet, une vache boiteuse est plus souvent couchée, marche moins et chevauche moins les autres congénères (Gaude *et al.*, 2017). Cela est modélisé dans le simulateur de la manière suivante pour les vaches atteintes de boiterie de gravité G1 et G2 :

	Risque de détection du 1er œstrus post-partum pour les boiteries G1 et G2	**Risque de détection des œstrus suivants pour les boiteries G1 et G2**
Capteur embarqué	1	0,98
Eleveur	0,45	0,70
Robot	1	1
Taureau	1	1

Tableau 73 : Effet d'une boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs (Gaude *et al.*, 2017)

Le risque est factorisé lorsque la vache souffre simultanément de boiterie infectieuse et non infectieuse (Risque(I) x Risque(NI)).

2.2.3.3.1.1.3.1.2 Effet d'une boiterie sur la reprise d'activité ovarienne

Les effets sur la détection des chaleurs sont tellement forts qu'ils expliquent en grande partie le décalage de la première insémination. De ce fait, l'effet de la boiterie sur la reprise de l'activité ovarienne n'est pas directement modélisé.

2.2.3.3.1.1.3.1.3 Effet d'une boiterie sur la fertilité

A l'image du paragraphe précédent et pour les mêmes raisons l'effet de la boiterie sur la fertilité n'est pas directement modélisé.

2.2.3.3.1.1.3.2 Effet d'une boiterie sur les performances de production laitière

La boiterie a un effet sur la production laitière (*cf.* § *2.2.2.1.2.11 Effet des boiteries sur la production laitière*). La quantité produite ainsi que la composition (TB et TP) sont affectés tout au long de l'épisode de boiterie à un degré qui est fonction du type de boiterie et de sa gravité. D'après (O'Connor *et al.*, 2020) et (Kofler *et al.*, 2021), une boiterie affecte peu le TP, mais le TB moyen sur une lactation complète est augmenté selon la sévérité et la durée de cette boiterie. Les effets s'appliquent dès que la vache est boiteuse et ils s'annulent lorsque la vache est guérie. Les effets sont simulés de la manière suivante :

Gravité	Caractéristique impactée	Effet sur la production laitière		Référence
		Boiterie infectieuse	Boiterie non infectieuse	
G1	Quantité (kg/j)	Stabulation(*) : -0,7 Pâture : 0	-1,8	Infectieuse : (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013) Non infectieuse : Adapté d'après (Chesnin et Bareille, 2011)
	TB (g/kg)	+0,30		Adapté d'après (O'Connor *et al.*, 2020) et (Kofler *et al.*, 2021)
	TP (g/kg)	0		
G2	Quantité (kg/j)	Stabulation(*) : -0,7 Pâture : 0	-2,5	Infectieuse : (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013) Non infectieuse : Adapté d'après (Chesnin et Bareille, 2011)
	TB (g/kg)	+1,5		Adapté d'après (O'Connor et al., 2020) et (Kofler et al., 2021)
	TP (g/kg)	0		

Tableau 74 : Effet sur la production laitière en fonction du niveau de gravité de la boiterie par rapport aux vaches saines (G0)

(*) Effet divisé par deux en cas de système mixte stabulation/pâture.

2.2.3.3.1.1.3.3 Effets d'une boiterie sur l'alimentation

Du fait de la réduction de la quantité de lait produite en cas de boiterie, la consommation d'aliment est diminuée selon la modalité suivante : une diminution de 2 kg de lait occasionne une baisse de consommation d'1 kg réparti proportionnellement entre le fourrage et le concentré (Bareille *et al.*, 2003).

2.2.3.3.1.1.3.4 Effet d'une boiterie sur la sensibilité aux autres maladies

Les boiteries ont un effet sur la sensibilité à d'autres maladies. Les maladies considérées dans DHM sont les infections intra-mammaires (*cf.* § *2.2.3.1.1.2.2.1.7 Modulation de l'incidence des mammites liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie*) et les cétoses (cf. § *2.2.3.2.1.2.2.5 Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie*). Elles sont traitées dans les chapitres correspondants.

2.2.3.3.1.1.3.5 Réforme et mortalité liées à une boiterie

Pour la mortalité liée aux maladies du sabot, les chiffres de (Ettema, Østergaard et Kristensen, 2010), ont été adaptés d'après les HR de (Bicalho *et al.*, 2007). De plus, dans cette publication, le HR des boiteries modérées comprenaient les boiteries sévères donc il a été modifié en prenant la pondération 2/3 de modérées et 1/3 de sévères. Ainsi, le risque est modélisé de la manière suivante :

	Infectieuse		Non infectieuse	
	G1	G2	G1	G2
Mortalité	0,16 % (*)		3,6 % (**)	4,2 % (**)
Réforme	0,14 % (*)		2,5 % (***)	4,5 % (***)

Tableau 75 : Réforme et mortalité liées à une boiterie

(*) *(Ettema, Østergaard et Kristensen, 2010)*

(**)*Adapté d'après (Ettema, Østergaard et Kristensen, 2010) et* (Bicalho *et al.*, 2007)

(***)*Adapté d'après (Ettema, Østergaard et Kristensen, 2010)*

Le moment du départ, que ce soit pour réforme ou suite à une mortalité, se répartit de façon assez linéaire entre 15 jours après de début de la boiterie et sa fin théorique. Le modèle implémenté dans le simulateur, adapté selon (Booth *et al.*, 2004) effectue la sortie de l'animal du troupeau après un délai situé de manière uniforme dans la fenêtre de 15 à 30 jours.

La présence d'une boiterie non infectieuse d'une durée supérieure ou égale à 5 mois (150 jours) et non guérie au moment du tarissement conduit l'éleveur à ne plus inséminer la vache lors des chaleurs suivantes. Elle sera réformée à la fin de sa dernière lactation de fait prolongée. Les vaches réformées pour cause de boiterie non guérie ont une valeur de « vache de réforme », c'est à dire diminuée de moitié par rapport à une vache saine.

2.2.3.3.1.2 Incidence

L'incidence revêt deux dimensions : l'incidence de base partant d'une conduite basique ne provoquant que des cas spontanés, et une modulation permettant d'intégrer des caractéristiques individuelles des vaches pouvant favoriser l'apparition de cas supplémentaires (ou le cas échéant de réduire l'incidence de base).

2.2.3.3.1.2.1 Incidence de base

L'incidence de base est à déterminer pour des méthodes de prévention nominales. Elle traduit donc uniquement l'apparition spontanée de la maladie dans le troupeau. Deux périodes à risque sont identifiées : le pic de lactation et la période de tarissement. L'incidence est donc fixée lorsque la vache est en lactation ou en période de tarissement. Et étant donné l'absence d'éléments épidémiologiques concernant la boiterie de gravité sévère, le niveau de gravité G2 est décrit comme étant une aggravation G1 (voir § *2.2.3.3.1.4.2 Aggravation d'un épisode de boiterie*). Ainsi, seule l'incidence de base des boiteries G1 est décrite ici pour les deux types de boiteries.

Et donc l'incidence de toutes les boiteries confondues est de 20,3 cas/100 vaches/an. En France, l'incidence de lésion de dermatite digitée est de 48 cas/100 pieds/an (Relun, Lehebel, Bruggink, *et al.*, 2013) mais seulement 20 % des vaches avec des lésions boitent (van Huyssteen *et al.*, 2020). En période de tarissement, seul un auteur s'est intéressé à l'incidence des boiteries qui est de 8,2/100 vaches/semaine, mais le système d'élevage n'est pas représentatif de celui simulé. En se basant sur ces éléments et en s'appuyant les avis d'experts, il a été possible de modéliser l'incidence de référence de la manière suivante :

Période à risque	**Incidence de base d'une boiterie infectieuse**	**Incidence de base d'une boiterie non infectieuse**
En lactation	20 cas/100 VL/an (Relun, Lehebel, Bruggink, *et al.*, 2013)	15 cas/100 VL/an Adapté d'après (Afonso *et al.*, 2020)
Au tarissement	4 cas/100 VL/an Adapté d'après (Daros *et al.*, 2019)	

Tableau 76 : Incidence de référence pour les boiteries infectieuses et non infectieuses en fonction des périodes à risque

La courbe du risque quotidien fait l'objet de la figure suivante :

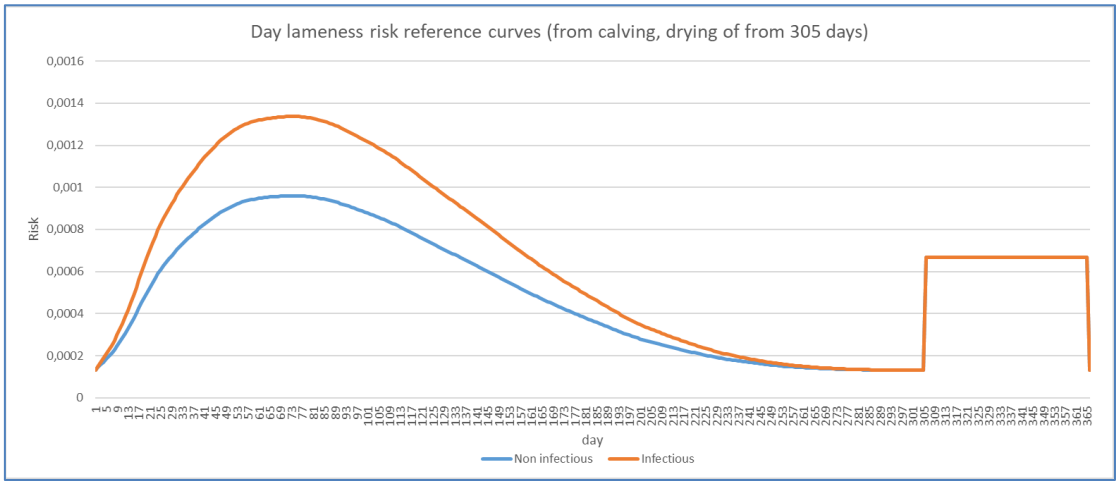


Figure 21 : Courbe du risque quotidien de base pour l'incidence de boiterie, à partir du vêlage et pour une lactation à 305 jours

Pour les lactations longues, ce risque est prolongé au-delà du 305ème jour de manière uniforme.

2.2.3.3.1.2.2 Modulation du risque d'incidence

Le risque d'incidence des boiteries peut être modulé en fonction de situations propres à chaque individu et aux conditions d'élevage.

2.2.3.3.1.2.2.1 Modulation individuelle du risque d'incidence

2.2.3.3.1.2.2.1.1 Modulation de l'incidence de la boiterie liée à la génétique

La santé des pieds des vaches laitières peut être améliorée grâce à la sélection génétique. En effet, deux index ont été développé à l'issus de l'enregistrement des lésions lors de parage et de génotypage des animaux parés.

Ces index sont : « RLi » pour la résistance aux lésions infectieuses et « RLni » pour la résistance aux lésions non infectieuses. Le simulateur ne prenant en compte que les boiteries, ces deux index sont donc appelés « RBi » et « RBni ». Ces index sont traités dans le paragraphe *2.2.4.1 Valeurs constantes biologiques et techniques*.

2.2.3.3.1.2.2.1.2 Modulation de l'incidence de la boiterie liée au rang de lactation

Une méta-analyse (Oehm *et al.*, 2019) permet de moduler l'incidence des boiteries en fonction de la parité des vaches, ainsi une vache augmente ses chances de boiter lorsque son rang de lactation augmente. En conséquence, l'incidence de base est modulée selon les modalités suivantes :

Rang de lactation	Boiterie Infectieuse	Boiterie Non Infectieuse
1	1	1
2	1	1
3	1,1	1,8
≥4	1,3	2,7
Référence	Adapté d'après (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013)	Adapté d'après (Oehm *et al.*, 2019)

Tableau 77 : Risque de survenue d'une boiterie en fonction du rang de lactation

2.2.3.3.1.2.2.1.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée au niveau de production

D'après l'analyse des résultats de différentes publications (O'Connor *et al.*, 2020), (Solano *et al.*, 2015), (Green *et al.*, 2014) et (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013)), nous décidons de ne pas inclure dans la modulation de l'incidence le niveau de production laitière. En effet, lorsqu'un effet était observé, l'analyse statistique ne prenait pas en compte la parité, qui est susceptible d'expliquer à elle seule l'effet sur le risque de boiterie. De plus, les index « RBi » et « RBni » révèlent une corrélation génétique avec la production laitière (cf. *Tableau 112 : Corrélation génétique ρ entre chaque trait phénotypique*).

2.2.3.3.1.2.2.1.4 Modulation de l'incidence de la boiterie liée à la concurrence d'autres maladies

Une vache est plus à risque de développer une boiterie dans un intervalle de temps donné lorsqu'elle développe une autre maladie. En fonction de sa nature, le risque relatif associé est le suivant :

	Mammites (G1 à G3)	Cétose subclinique et clinique (G1 et G2)
Risque relatif	2	2
Durée du risque	Concomitant à la maladie	Concomitant à la maladie
Références	D'après (Dohoo *et al.*, 1983) et (Peeler, Otte et Esslemont, 1994)	D'après (Raboisson, Mounié et Maigné, 2014) et (Dohoo *et al.*, 1983)

Tableau 78 : Risque relatif de survenue d'une boiterie liée à la concurrence d'autres maladies

2.2.3.3.1.2.2.2 Modulation du risque d'incidence liée à la conduite du troupeau

2.2.3.3.1.2.2.2.1 Modulation de l'incidence de la boiterie infectieuse liée à la contagion du lot

Une vache qui se trouve dans un lot présentant une certaine prévalence de boiteries infectieuses a plus de risque de devenir boiteuse elle-même d'une boiterie infectieuse (Relun, Lehebel, Bruggink, *et al.*, 2013). Cela s'applique selon les modalités suivantes :

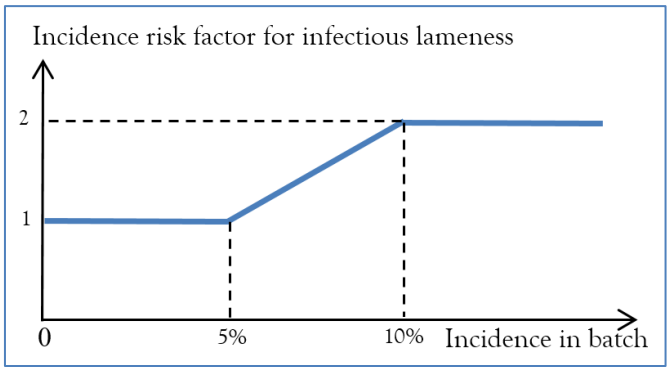


Figure 22 : Risque de devenir boiteux d'une maladie infectieuse en fonction de la prévalence du lot

2.2.3.3.1.2.2.2.2 Modulation de l'incidence de la boiterie liée à la saison (effet logement)

Une vache qui reste une longue période en bâtiment a plus de risque de devenir boiteuse d'une maladie infectieuse selon les modalités suivantes :

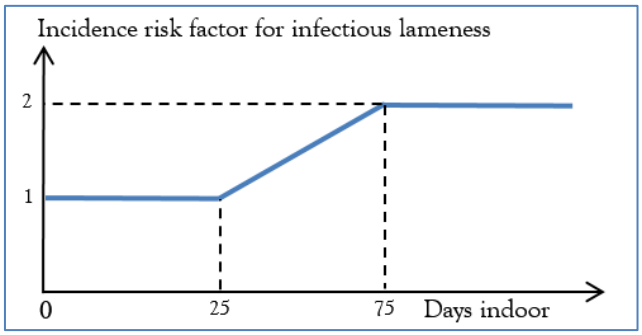


Figure 23 : Risque de devenir boiteux d'une maladie infectieuse en restant une certaine durée dans un bâtiment

Cet effet divisé par deux en cas de saison mixte pâture/stabulation.

2.2.3.3.1.2.2.2.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée aux mesures de prévention

Le parage des pieds des vaches permet une prévention des maladies non infectieuses (Hernandez *et al.*, 2007) et (Manske, Hultgren et Bergsten, 2002b), et infectieuses (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013) et de traiter les cas qui n'auraient pas été détectés en routine. De plus, l'utilisation d'un pédiluve traite les cas de boiteries infectieuses en court (Relun, Lehebel, Bruggink, *et al.*, 2013) et (Ariza *et al.*, 2017). Ainsi, le parage et l'utilisation d'un pédiluve sont les deux options de prévention disponibles.

Les coûts de la pratique du parage, de l'exploitation du pédiluve et des soins associés sont paramétrés dans le module comptable (*cf.* § *2.2.7.1 Paramètres comptables*).

Parage :

L'opération de parage préventif d'un groupe de vaches occasionne une activité planifiée pour le vétérinaire, et non planifiée dans le cas d'un parage curatif groupé de vaches détectées boiteuses (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*). Il occasionne également une activité pour l'éleveur dans les mêmes conditions.

Actions du parage préventif collectif sur les boiteries non infectieuses :

Le parage permet de prévenir les boiteries non infectieuses. Le simulateur applique les dernières recommandations en parant préventivement les vaches concernées au rythme défini par l'expérimentateur. Ce rythme est paramétrable (cf. § *2.2.3.3.2.1.4 Option de prévention des boiteries infectieuses et non infectieuses par* le parage).

Le risque d'incidence d'une boiterie non infectieuse des vaches parées est présenté dans le tableau ci-dessous :

	Prévention boiterie non infectieuse pour une vache parée	Prévention boiterie non infectieuse et vaches non parées	Références
Risque d'incidence	0,7	1	(Hernandez *et al.*, 2007) et (Manske, Hultgren et Bergsten, 2002b)
Durée du risque	2 mois	0	Avis d'expert

Tableau 79 : Risque d'incidence d'une boiterie non infectieuse des vaches parées

Les vaches ayant fait l'objet d'un récent parage, c'est à dire d'une proximité inférieure à la durée de la protection offerte par un parage curatif non infectieux, ne sont pas parées préventivement.

Actions du parage préventif collectif sur les boiteries infectieuses :

Accessoirement, le parage permet également de prévenir les boiteries infectieuses. Le risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches en lactation parées est présenté dans le *Tableau 80 : Risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches parées*. Le risque était plus diminué selon (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013) et était inférieur à l'effet préventif du parage sur les boiteries non infectieuses. Il a donc été décidé de l'augmenter pour qu'il soit identique à celui sur les boiteries non infectieuses. Le risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches parées est présenté dans le tableau ci-dessous :

	Prévention boiterie infectieuse pour une vache parée	Prévention boiterie infectieuse et vaches non parées	Références
Risque d'incidence	0,7	1	Adapté d'après (Relun, Lehebel, Chesnin, *et al.*, 2013)
Durée du risque	3 semaines	0	Avis d'expert

Tableau 80 : Risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches parées

Actions curatives sur les boiteries infectieuses et non infectieuses à l'occasion du parage préventif collectif :

Lors du parage, les vaches boiteuses, qui n'ont pas été détectées par l'éleveur mais qui le sont par le pareur, sont aussi traitées car elles sont inspectées individuellement. Leur traitement curatif collectif est le même que celui mis en place lorsque l'éleveur détecte une boiterie et est indiqué dans le paragraphe *2.2.3.3.2.4 Plan de traitement*.

Pédiluve :

Actions préventive collective du pédiluve sur les boiteries infectieuses :

Le pédiluve permet de prévenir l'apparition de boiteries infectieuses (Relun *et al.*, 2012). Le risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches passées dans un pédiluve est présenté dans le tableau ci-dessous :

	Prévention boiterie infectieuse pour une vache passée dans le pédiluve	Prévention boiterie infectieuse pour une vache non passée dans le pédiluve	Référence
Risque d'incidence	0,89	1	(Ariza *et al.*, 2017)

Tableau 81 : Risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches passées dans un pédiluve

Les modalités d'exploitation du pédiluve sont paramétrables (cf. §*2.2.3.3.2.1.3 Option de fréquence d'utilisation du pédiluve*).

Actions curatives sur les boiteries infectieuses à l'occasion du passage en pédiluve :

Le pédiluve permet de traiter les boiteries infectieuses. Lors de l'utilisation du pédiluve, les vaches laitières qui ont une boiterie d'origine infectieuse, non encore détectée, sont traitées selon les modalités suivantes :

	Traitement boiterie infectieuse pour une vache passée dans le pédiluve		Références
	G1	G2	
Risque de guérison	Facteur 1.3 du taux de guérison spontanée (cf. § *2.2.3.3.1.4*)		Adapté d'après (Ariza *et al.*, 2017) et (Relun *et al.*, 2012)
Durée avant effet (j)	5	9	Avis d'expert

Tableau 82 : Risque de guérison d'une boiterie infectieuse des vaches passées dans un pédiluve

Cette donnée n'est pas indiquée dans le paragraphe *2.2.3.3.2.4 Plan de traitement* car elle est issue d'un traitement collectif. Le risque de guérison est ramené au jour par un rapport avec la durée d'efficacité du pédiluve.

2.2.3.3.1.3 Détection des cas de boiterie

Sous sa forme clinique, la boiterie provoque des phénomènes plus faciles à observer de manière externe. En effet, les vaches se déplacent moins vite, elles reportent leur poids sur le pied non atteint, ont le dos courbé et un effet balancier de leur tête.

Deux moyens de détection sont disponibles : l'éleveur ou un capteur embarqué. Les éleveurs ont généralement des difficultés à détecter les boiteries de gravité G1 mais ils détectent mieux les boiteries de gravité G2 d'après (Cutler *et al.*, 2017), (Whay, Main et Green, 2003) et (Wells *et al.*, 1993). Une distinction de détection des cas est faite entre un éleveur sensible et un autre moins sensible selon les modalités décrites dans le tableau ci-dessous.

Un capteur embarqué est en cours de recherche et permettra de détecter une vache boiteuse en s'appuyant sur leur démarche. Dans l'idéal, ces données sont à coupler avec celles de la traite, de l'alimentation et de l'état corporel.

Le moyen de détection est paramétrable selon les modalités définies au paragraphe *2.2.3.3.2.2 Options de détection*.

	Boiterie Infectieuse et Non Infectieuse		Références
	G1	G2	
Eleveur sensible	40%	95%	Adapté d'après (Thomsen, 2009) et avis d'expert
Eleveur peu sensible	20%	70%	
Capteur embarqué	90%	100%	Avis d'expert

Tableau 83 : Sensibilité de détection des vaches boiteuses

Le contrat de soins vétérinaires peut le cas échéant faire évoluer la sensibilité de l'éleveur au cours de la simulation (cf. § *2.2.3.3.2.2 Options de détection*). Les cas de boiteries, lorsqu'ils ont été détectés, conduisent systématiquement à la mise en place d'un traitement adapté en fonction de la cause de la boiterie dont le plan est défini au paragraphe *2.2.3.3.2.4 Plan de traitement*. La détection intervient avec une loi uniforme du jour 5 au jour 10 de la boiterie.

2.2.3.3.1.4 Evolution et guérison d'une boiterie

La dynamique de la progression de la maladie est définie selon le modèle suivant :

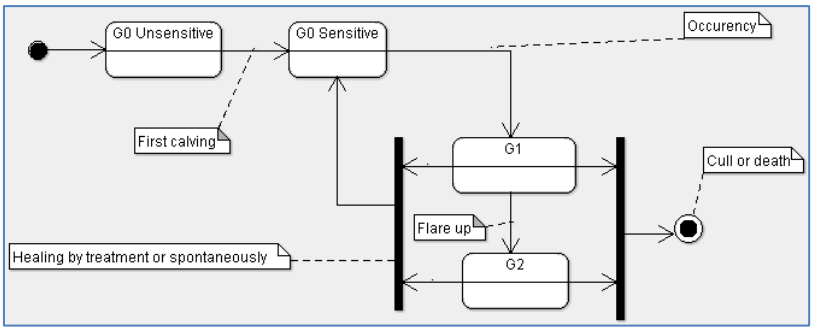


Figure 24 : Dynamique d'évolution des boiteries

Le principe mis en œuvre par le simulateur est de déclencher, lorsque les conditions sont réunies (en lactation ou au tarissement, parité, concurrence de l'épisode d'une autre maladie…) et de manière stochastique à partir de l'incidence décrite au paragraphe *2.2.3.3.1.2 Incidence*, un cas de boiterie G1, infectieux ou non infectieux, qui, en fonction des éléments en jeu, guérira à la suite d'un traitement préventif collectif ou avec la mise en place d'un ou plusieurs traitements, s'aggravera (devenant ainsi un cas de boiterie G2), ou conduira à la réforme voire la mort.

Les boiteries de gravité G1 peuvent guérir spontanément selon les valeurs décrites dans le tableau ci-dessous. La guérison spontanée des boiteries de gravité G2 est négligée.

Boiterie de gravité G1		**Référence**
Infectieuse	**Non infectieuse**	
50% guéries au 15ieme jour	5% guéries au 20ième jour	Adapté d'après (Relun *et al.*, 2012)

Tableau 84 : Guérison spontanée des boiteries de gravité G1.

La guérison spontanée des boiteries de gravité G2 est négligée.

2.2.3.3.1.4.1 Durée des boiteries

Lorsqu'elles ne sont pas détectées, les boiteries ne sont pas traitées et alors elles peuvent durer dans le temps. Leur durée n'est pas définie car elle dépend des circonstances décrites dans les lignes qui suivent.

2.2.3.3.1.4.2 Aggravation d'un épisode de boiterie

Toutes les boiteries de gravité G1 non guéries spontanément ou par l'effet d'un traitement s'aggravent en boiterie de gravité G2. Le délai de l'aggravation dépend du type de boiterie. Pour les boiteries infectieuses, ce délai est de 30 à 90 jours réparti selon une loi uniforme, et pour les boiteries non infectieuses, il est de 70 à 170 jours réparti de la même manière.

2.2.3.3.1.4.3 Récidive d'une boiterie

Les boiteries infectieuses peuvent ne peuvent récidiver qu'à partir de 3 semaines après la guérison (Relun *et al.*, 2012) et (Nielsen, Thomsen et Sørensen, 2009), et de 2 mois pour les boiteries non infectieuses (à dire d'expert). Ces durées sont modélisées dans le simulateur comme étant des périodes temporaires d'insensibilité.

2.2.3.3.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la boiterie

Le paramétrage du simulateur permet de définir le facteur global de prévention, les options de prévention et de détection, et le plan de traitement.

2.2.3.3.2.1 Facteurs de prévention

2.2.3.3.2.1.1 Facteurs globaux de prévention

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la prévention des boiteries (valeur entre 1.0 et 2.0) ou de la réduire (valeur entre 0.2 et 1.0) , elle permet de faire intervenir l'effet de facteurs de conduite d'élevage qui exercent une influence sur l'incidence mais ne sont pas explicitement représentés (*cf.* § *2.2.3.3.1.2.2*

Modulation du risque). Un facteur global de prévention est décrit pour les boiteries d'origine infectieuse et un autre pour les boiteries d'origine non infectieuses. Par défaut, la valeur est à 1.0.

2.2.3.3.2.1.2 Option de prévention des boiteries infectieuses par l'utilisation du pédiluve

L'emploi du traitement préventif par l'utilisation du pédiluve en vue de diminuer l'incidence des boiteries infectieuses est paramétrable (cf. § *2.2.3.3.1.2.2.2.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée aux mesures de prévention*). L'option d'utilisation du pédiluve n'est pas retenue par défaut. Lorsqu'elle est retenue, la protection, paramétrable, est par défaut de 21 jours ((Relun *et al.*, 2012) et (Nielsen, Thomsen et Sørensen, 2009)).

2.2.3.3.2.1.3 Option de fréquence d'utilisation du pédiluve

Lorsque le pédiluve est employé pour les vaches en lactation, il est possible de paramétrer la fréquence de son emploi (cf. § *2.2.3.3.1.2.2.2.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée aux mesures de prévention*), différemment pour les trois modes de logement (cf. § *2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage*). La valeur par défaut pour chacun des logements Pâturage, stabulation et système mixte est de 21 jours (Relun *et al.*, 2012) et (Nielsen, Thomsen et Sørensen, 2009).

2.2.3.3.2.1.4 Option de prévention des boiteries infectieuses et non infectieuses par le parage

Différentes modalités de parage sont proposées en vue de diminuer l'incidence des boiteries infectieuses et non infectieuses (cf. § *2.2.3.3.1.2.2.2.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée aux mesures de prévention*), elles sont les suivantes :

- Pas de parage,
- Parage préventif systématique et groupé du lot des vaches en lactation le jour de l'automne uniquement (par défaut),
- Parage préventif systématique et groupé du lot des vaches en lactation le jour du printemps et le jour de l'automne,
- Parage préventif des vaches en lactation par petits groupes après le vêlage (inscrite après 60 jours) et au tarissement (inscrite immédiatement)

Pour la dernière option, le parage est réalisé lorsque la liste des vaches inscrites compte suffisamment d'individus pour que l'atelier de parage soit monté et que le parage groupé puisse être réalisé. La taille du petit groupe de vaches à parer préventivement est la même que pour le parage curatif, lequel est paramétrable (cf. § *2.2.3.3.2.3 Regroupement des parages et des cas individuels de boiterie à traiter).*

L'application d'un contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) peut le cas échéant modifier en cours de simulation l'option de parage préventif initialement choisie. L'effet concret dans ce cas est de préconiser un parage préventif deux fois par an, quelle que soit l'option initialement retenue. Cette modalité est mise en pratique au bout d'un an de contrat.

Les activités de parage préventif constituent une activité vétérinaire planifiée figurant dans les résultats (cf. *2.2.3.6 Données générales de santé produites*).

2.2.3.3.2.2 Options de détection

Trois options de détection sont proposées à l'expérimentateur : détection visuelle par l'éleveur sensible, par un éleveur moins sensible et détection grâce à l'utilisation d'un capteur embarqué.

La détection visuelle par un éleveur peu sensible est retenue par défaut selon les modalités décrites dans le paragraphe *2.2.3.3.1.3 Détection des cas de boiterie*. Toutefois l'application d'un contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) peut le cas échéant faire évoluer la sensibilité de l'éleveur au cours de la simulation. En effet, le conseil prodigué à l'éleveur par le vétérinaire au titre de ce contrat ainsi que sa proximité permettent à un éleveur paramétré initialement comme étant « peu sensible » de devenir « sensible » au bout de 6 mois.

2.2.3.3.2.3 Regroupement des parages et des cas individuels de boiterie à traiter

Les vaches détectées boiteuses sont traitées par petits groupes. Il en est de même lorsque l'option de parage préventif par petits groupes est retenue (groupe différencié). La taille de ces petits groupes est paramétrable, la valeur par défaut est de 10.

L'option de contrat de soins vétérinaires si elle est souscrite (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) peut le cas échéant diminuer le délai de prise en compte des cas en réduisant en cours de simulation la taille de ces groupes. En effet, dans ce cadre, si la taille du groupe de parage initialement paramétrée était supérieure, celle-ci est passée à 5 vaches au bout de 6 mois, ce qui réduit le délai d'intervention pour le traitement des cas.

2.2.3.3.2.4 Plan de traitement

Cette partie regroupe uniquement les traitements individuels issus de détection d'une vache boiteuse en routine. Les traitements des vaches détectées boiteuses par la mise en œuvre des moyens de prévention collectifs tels que le parage ou l'utilisation d'un pédiluve sont décrits dans le paragraphe *2.2.3.3.1.2.2.2.3 Modulation de l'incidence de la boiterie liée aux mesures de prévention*.

Lorsqu'une boiterie est détectée par l'éleveur (seul ou avec les moyens de détection dont il dispose), ce dernier fait prodiguer par le vétérinaire un traitement seulement lorsqu'il y a un certain nombre de vaches boiteuses dans ce cas, qu'elles soient d'origine infectieuse ou non. Ce nombre de vaches à traiter est paramétrable (voir § *2.2.3.3.2.3 Regroupement des parages et des cas individuels de boiterie à traiter*), lequel peut être réduit en cours de simulation en cas de contrat de soins vétérinaires (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) pour une prise en compte plus rapide. Un parage curatif est alors réalisé, il occasionne une activité de soin vétérinaires à la vache (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*).

Le plan de traitement appliqué est paramétrable, ses valeurs par défaut sont les suivantes :

	Toutes périodes			
	Boiterie non infectieuse		**Boiterie infectieuse**	
Gravité	**G1**	**G2**	**G1**	**G2**
Nom	Pose d'une talonnette		Pansement avec désinfectant	
Délai avant effet (j)	3 à 7 (*)	7 à 14 (*)	3	7
Durée d'attente lait (j)	0			
Risque de guérison du 1er traitement	55%	55%	90%	85%
Risque de guérison si échec au 1er traitement	45%	25%	90%	85%
Références	(Thomas *et al.*, 2015) et avis d'expert		Avis d'expert	

Tableau 85 : Valeurs par défaut du plan de traitement de la boiterie

(*) loi uniforme

Le même traitement curatif est réalisé lorsqu'une vache s'avère boiteuse lors du parage collectif préventif. S'il n'a pas été efficace à la première tentative, le traitement d'une boiterie de gravité G2 est renouvelé tous les 40 jours jusqu'à guérison.

Le coût du traitement est paramétré dans le module comptable (*cf.* § *2.2.7.1.3 Santé*).

2.2.3.3.3 Données spécifiques produites relatives à la boiterie

Les données techniques générales concernant les cas de boiterie (non infectieux, infectieux, de gravité 1 ou 2) rencontrés dans le troupeau sont systématiquement produites, elles sont décrites dans les chapitres *2.2.3.6 Données générales de santé produites*. Les données spécifiques décrites ci-dessous sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur :

Nom des résultats : « AnnualNonInfectiousLamenessResults » et « AnnualInfectiousLamenessResults ».

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
G1_lameness_per_100_cows	real	Nombre de cas de boiteries de gravité G1 / nombre de vaches présentes (pourcentage)
G2_lameness_per_100_cows	real	Nombre de cas de boiteries de gravité G2 / nombre de vaches présentes (pourcentage)
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 86 : Structure des données relatives aux résultats annuels des boiteries

2.2.3.4 Gastro-entérite néonatale infectieuse (GENNI)

Durant leurs premiers jours de vie, les veaux sont susceptibles d'être infectés par des agents pathogènes viraux, bactériens ou parasitaires responsables de gastro-entérites néonatales. La gravité de l'épisode infectieux est variable selon l'agent rencontré et peut aller jusqu'à la mort de l'animal à court, moyen ou long terme. Ces gastro-entérites infectieuses entraînent des conséquences sur la croissance, la reproduction, la quantité de lait produite à la première lactation et peuvent mener à une réforme prématurée de l'animal.

2.2.3.4.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives aux GENNI

2.2.3.4.1.1 Description des GENNI

2.2.3.4.1.1.1 Types de GENNI

Le simulateur prend en compte quatre types de GENNI différents, représentant les quatre agents pathogènes principaux rencontrés en élevage responsables de GENNI lors des 30 premiers jours de vie :

Nom de l'agent	Nom abrégé
Escherichia coli entérotoxinogène	ETEC
Cryptosporidium parvum	Crypto
Rotavirus	Rota
Coronavirus bovin	Corona

Tableau 87 : Agents pathogènes responsables de GENNI

2.2.3.4.1.1.2 Niveaux de gravité des GENNI

Les GENNI peuvent apparaître avec différents niveaux de gravité et selon des fréquences variantes en fonction de l'agent pathogène en cause.

2.2.3.4.1.1.2.1 Définition des niveaux de gravité

Les niveaux de gravité ont été déterminés de la manière suivante :

Nom	Définition
G0	Animal sain
G1	Animal infecté avec diarrhée légère à modérée
G2	Animal infecté avec diarrhée sévère et atteinte systémique

Tableau 88 : Niveaux de gravité des GENNI

2.2.3.4.1.1.2.2 Répartition des niveaux de gravité selon le type de GENNI

La distribution des niveaux de gravité dépend de l'agent en cause et de s'il s'agit de la première pathologie. Si le veau n'est pas encore affecté par une GENNI, la probabilité que la gravité soit une G2 est la suivante (Bartels *et al.*, 2010) :

Agent pathogène	Probabilité de gravité G2
ETEC	0,6
Crypto	0,7
Rota	0,6
Corona	0,6

Tableau 89 : Répartition du risque de gravité de la première GENNI

Cette probabilité peut être modulée en fonction de l'état de protection du veau et du statut vaccinal de la mère (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*). Si le veau était déjà atteint par au moins une GENNI au moment de l'apparition d'une nouvelle, la probabilité que cette dernière soit de gravité G2 est de 100%. Une pathologie de gravité G1 sera éventuellement détectée par l'éleveur (cf. § *2.2.3.4.1.3 Détection des GENNI*).

2.2.3.4.1.1.3 Conséquences des GENNI

En fonction de leur gravité, les GENNI peuvent entraîner des conséquences sur la santé et la production de l'animal. Par la suite, elles peuvent impacter indirectement la décision de sa réforme (cf. §2.2.5.1.1.2.2.2 Réforme en vue de la régulation de l'effectif).

2.2.3.4.1.1.3.1 Retard de la vente du veau

Les veaux destinés à être vendus (veaux mâle, femelles stériles, croisés viande, génisses surnuméraires) ne peuvent pas l'être lorsqu'ils sont victimes d'une GENNI clinique, mais seulement une fois celle-ci guérie.

2.2.3.4.1.1.3.2 Diminution de la croissance moyenne

Lors d'un épisode de GENNI, le veau est affaibli et ne se nourrit pas ou peu, provoquant un lourd défaut d'apport nutritionnel lors d'une période de croissance importante. Si cet épisode est gravité G2, il ne se nourrit pas pendant 2 jours. Par la suite d'une GENNI, il a été constaté que le gain moyen quotidien (GMQ) est diminué tout au long de la croissance de l'animal. Dans le simulateur, cela se traduit par un retard de l'âge au premier vêlage dans les proportions suivantes (adapté d'après (Goh, House et Rowe, 2024) et (Abuelo, Cullens et Brester, 2021) :

Retard au premier vêlage (jours) (*)	
G1	G2
+4	+6

Tableau 90 : Retard au premier vêlage occasionné par une GENNI

(*) En cas d'infection par plusieurs pathogènes, le retard maximum sera mis en œuvre par le simulateur.

2.2.3.4.1.1.3.3 Diminution de la production laitière à la première lactation

La production laitière d'une vache ayant contracté une GENNI lors de ses premiers jours se voit diminuée lors de la première lactation. On constate une diminution de 1,07kg par jour de lactation (adapté d'après (Abuelo, Cullens et Brester, 2021). Cette production revient à la normale dès la deuxième lactation.
De ce fait et suivant la stratégie de l'éleveur relative à sa gestion des veaux surnuméraires, un veau femelle peut être vendu du fait d'avoir été affecté par une GENNI si sa valeur génétique ne l'en protège pas (cf. § *2.2.5.1.1.2.1 Vente des veaux femelles*).

2.2.3.4.1.1.3.4 Mortalité

La mortalité liée aux GENNI se situe à deux niveaux : celle liée directement à la maladie du veau, et celle de la sensibilité accrue aux maladies non modélisées et qui peuvent occasionner in fine la mort de l'animal tout au long de sa croissance.

2.2.3.4.1.1.3.4.1 Mortalité liée aux pathogènes GENNI affectant le veau

La mortalité du veau liée à un pathogène GENNI concerne les cas de G2 en cas d'échec du traitement selon la probabilité décrite au § *2.2.3.4.2.9 Plan de traitement*, et les cas de G1 subcliniques s'ils ne guérissent pas spontanément (cf. §*2.2.3.4.1.4.1 Guérison spontanée*) et qu'ils ne s'aggravent pas sous la forme d'une gravité G2 selon la probabilité décrite au §*2.2.3.4.1.4.3 Aggravation d'une GENNI*. Seul le pathogène ETEC peut occasionner la mort du veau dans le cas d'une GENNI G1 subclinique, avec une probabilité de 0.1 (adapté d'après (Virtala, 1996)). Les cas de G1 cliniques n'entrainent jamais la mort directe du veau puisqu'ils guérissent suite au traitement ou s'aggravent en G2.
Le risque de mortalité peut être accentué si le veau n'a pas bénéficié du transfert d'immunité (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.1 Transfert passif de l'immunité*). Le facteur de risque appliqué dans ce cas est de 9.12 (adapté d'après (Lora *et al.*, 2020)).
Dans tous les cas, la mort survient à la fin de la durée d'épisode définie pour le veau malade comme décrit dans le paragraphe *2.2.3.4.1.4.2 Durée d'une GENNI*.

2.2.3.4.1.1.3.4.2 Effet d'une GENNI sur la mortalité de l'animal liée aux pathologies non gérées

Une GENNI augmente le risque d'apparition de maladies diverses durant la croissance de l'animal, pour la plupart non gérées dans le simulateur. Pour représenter cet effet, un facteur de risque de mort de l'animal à

la suite d'un épisode de GENNI est appliqué, lié à l'âge de l'infection et non à l'agent en cause (Goh, House et Rowe, 2024) :

Age lors de la survenue de la première GENNI	Risque de mortalité associé	
	1 à 20 jours après la fin du dernier épisode	De 21 à 100 jours après la fin du dernier épisode
1-7j	HR 2,00	HR 1,54
8-14j	HR 2,83	HR 2,27
15-21j	HR 8,22	HR 2,90
>22j	HR 1,19	HR 1.0

Tableau 91 : Effet d'une GENNI sur la mortalité de l'animal liée aux pathologies non gérées

La raison de la mort n'est pas qualifiée « GENNI » dans ce cas, mais « otherDeathReason ».

2.2.3.4.1.2 Incidence des GENNI

L'incidence des GENNI varie en fonction de l'âge de veau. En effet chaque agent pathogène est susceptible d'être responsable d'une GENNI sur des tranches d'âge différentes.

Dans le simulateur, un veau est susceptible de contracter une GENNI selon le modèle épidémiologique suivant :

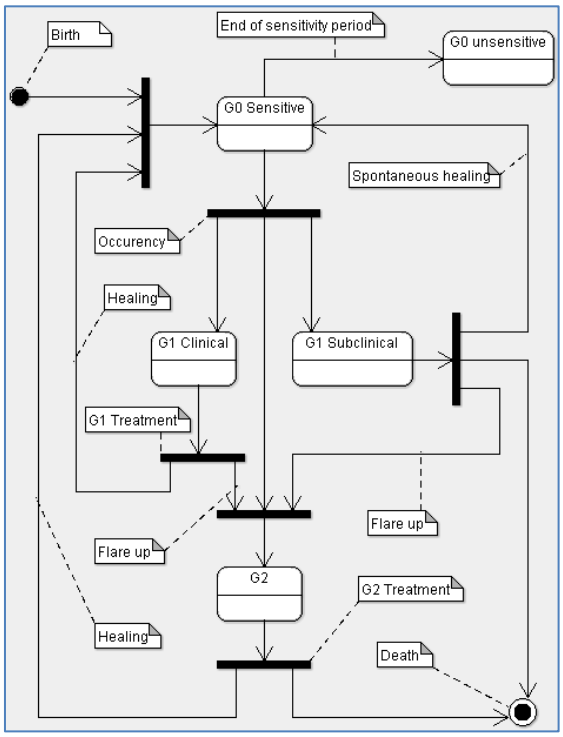


Figure 25 : Modèle épidémiologique des GENNI

Il s'agit d'un modèle identique à toutes les GENNI. La dynamique d'évolution des infections propre à chaque agent pathogène est détaillée dans le paragraphe *2.2.3.4.1.4 Evolution et guérison*. Aussi, la part d'incidence de chaque agent pathogène diffère selon celui en cause et est paramétrable, comme décrit dans le paragraphe *2.2.3.4.2.2 Part du type de chaque type d'agents* pathogènes dans l'incidence.

2.2.3.4.1.2.1 Périodes à risque

La période à risque s'étend du premier jour de vie au 30ème jour. Néanmoins, le risque d'apparition d'une GENNI due à un certain agent pathogène dépend du jour dans cette période, il est défini selon la loi bêta décalée à gauche suivante (avis d'expert) :

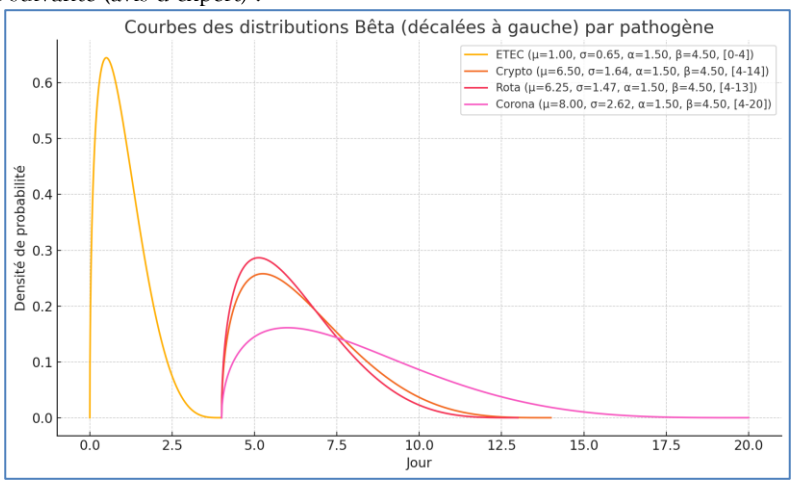


Figure 26 : Périodes à risque pour les GENNI

2.2.3.4.1.2.2 Modulation de l'incidence

2.2.3.4.1.2.2.1 Modulation individuelle : Parité de la mère

L'incidence des GENNI est différente en fonction de la parité de la mère, elle a tendance à diminuer en fonction du rang de lactation de celle-ci. Cela est traduit par facteur de risque lié à la parité qui est indépendant de l'agent pathogène en cause. La répartition est la suivante (adapté d'après (Svensson *et al.*, 2003)) :

Rang de lactation	Facteur de risque
1	1,75
2	1,33
3 et +	1

Tableau 92 : Modulation de l'incidence GENNI liée à la parité de la mère

2.2.3.4.1.2.2.2 Modulation troupeau

L'incidence peut être modulée au niveau du troupeau en fonction de la réussite du transfert passif de l'immunité, de la vaccination de la mère ainsi que de différentes situations complémentaires.

2.2.3.4.1.2.2.2.1 Transfert passif de l'immunité

L'incidence des GENNI est dépendante de l'immunité du veau. Celle-ci repose sur la qualité du transfert de l'immunité suite à la buvée de colostrum par le veau. Selon plusieurs critères détaillés ci-après, le veau aura une chance de succès ou d'échec de ce transfert et donc de risque d'apparition de GENNI. L'échec ou la réussite de la prise colostrale interviendront sur l'incidence des GENNI de la manière suivante (adapté d'après (Lora *et al.*, 2020)) :

Transfert passif de l'immunité	Facteur de risque
Réussite	1
Echec	3.18

Tableau 93 : Effet sur l'incidence de l'échec de la prise colostrale sur l'incidence des GENNI

Le veau obtient le statut de « protégé » si le transfert d'immunité est réussi.

L'incidence peut être améliorée pour un veau protégé si sa mère a été vaccinée (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*). A l'inverse, l'échec d'immunité intervient sur le risque de mortalité en cas de GENNI (cf. § *2.2.3.4.1.1.3.4.1 Mortalité liée aux pathogènes GENNI affectant le veau*).

Détermination du risque d'échec du transfert d'immunité :

Dans le simulateur, le transfert d'immunité par la prise colostrale peut échouer pour différentes raisons liées à la conduite de l'élevage. La proportion de veaux en échec de transfert d'immunité $I(x,\varepsilon)$ est calculée de la manière suivante (adapté d'après (Beam *et al.*, 2009)) :

$$I(x,\varepsilon) = \varepsilon + (100-\varepsilon) * \frac{e^{2,9529x}}{100} \%$$

Avec :

- x : indice composé des facteurs de risques liés à la qualité du colostrum et de la gestion de la colostrothèque ($x1$), et au temps passé avant la prise du premier colostrum avec quantité reçue ($x2$) :

$$x = x1 * x2$$

- ε : pourcentage de veau ne recevant pas de colostrum à la naissance :

$$\varepsilon = 100 - \varepsilon'$$

Contrôle de la qualité du colostrum et de la gestion de la colostrothèque (x1) :

Le contrôle de la qualité du colostrum est déterminant dans la réduction du nombre d'échecs d'immunité dans le troupeau. Le simulateur propose trois pratiques différentes :

- pas de colostrothèque et aucun contrôle du colostrum,
- gestion d'une colostrothèque et contrôle à l'aide d'un pèse colostrum (et correction des colostrums à concentration en IgG < à 50g/L),
- gestion d'une colostrothèque et contrôle à l'aide d'un réfractomètre optique (seuil à 20 Brix).

Par ailleurs, le taux d'échec peut également dépendre de capacité de l'éleveur à gérer sa colostrothèque. En effet, des mauvaises pratiques peuvent porter préjudice son efficacité.

Les facteurs de risque induits par ces différents types de pratique et leur qualité sont déterminés de la manière suivante (adapté d'après (Beam *et al.*, 2009), (Pritchett *et al.*, 1994) et (Bielmann *et al.*, 2010)) :

Modalité de contrôle	**Facteur de risque**	
	Bonne pratique de la gestion du colostrum	**Mauvaise pratique de la gestion du colostrum**
Pas de colostrothèque ni de contrôles	1	
Pèse colostrum	0,41	0,861
Réfractomètre	0,07	0,805

Tableau 94 : Facteurs de risque d'échec d'immunité induits par le type et la qualité de la gestion du colostrum

Le paramétrage du choix de la pratique et de sa qualité est décrit au § *2.2.3.4.2.3 Contrôle de la qualité du colostrum.*

Temps passé avant la prise du premier colostrum et quantité reçue (x2) :

Le délai d'absorption du colostrum par le veau après sa naissance est déterminant pour l'assimilation des anticorps contenus. Le simulateur propose trois situations différentes :

- le veau laissé sous la mère et sa (non) prise de colostrum est à sa diligence,
- le veau est séparé de la mère et sa prise de colostrum est réalisée dans les 4 heures après sa naissance,
- le veau est séparé de la mère et sa prise de colostrum est réalisée au-delà de 4 heures après sa naissance.

Les facteurs de risque d'échec d'immunité modélisés sont les suivants (adapté d'après (Beam *et al.*, 2009)) :

Modalité de prise du premier colostrum	Facteur de risque	
	Moins de 4 litres	Au moins 4 litres
Sous la mère ou sans attention spéciale	1	
Avant 4 heures	0,5704	0,4588
Après 4 heures	1,1408	0,9176

Tableau 95 : Facteurs de risque d'échec d'immunité induits par le temps passé avant la prise de colostrum et la quantité reçue

Le paramétrage de la modalité de la prise du colostrum est décrit au § *2.2.3.4.2.4 Temps passé pour le colostrum*.

Proportion du nombre de veaux recevant leur colostrum (ε') :

Suivant les types de conduite, tous les veaux ne reçoivent pas forcément de colostrum à leur naissance. Le taux de proportion des veaux recevant du colostrum intervient donc dans l'équation du risque d'échec d'immunité au sein du troupeau. Le paramétrage de cette proportion est décrit au § *2.2.3.4.2.5 Proportion de veaux recevant du colostrum.*

2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère

La vaccination des mères porte un rôle important dans l'apparition de GENNI au sein d'un élevage. Les modalités de cette vaccination sont paramétrables tel que décrit au paragraphe *2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes*. La vaccination cible directement l'incidence d'un agent pathogène particulier. Elle a aussi un impact sur la sévérité des épisodes infectieux et/ou leur durée. Le facteur de risque lié aux protocoles de vaccination est le suivant :

Pathogène concerné	Facteur de risque					Référence
	Incidence	Durée épisode	Guérison en G1	Aggravation G1 vers G2	Probabilité de G2	
		§ 2.2.3.4.1.4.2	§ 2.2.3.4.1.4.1 § 2.2.3.4.2.9	§ 2.2.3.4.1.4.3	§ 2.2.3.4.1.1.2.2	
ETEC	0.5	1	1,3	0,5	0,5	Adapté d'après (Viidu et Mõtus, 2022)
Corona	0.5	1	1,1	0,5	0,5	
Rota	0.5	1	1,1	0,5	0,5	
Crypto	0,46	0,49	1	1	1	D'après (Timmermans *et al.*, 2024)

Tableau 96 : Facteurs de risque GENNI liés à la vaccination de la mère

Ces effets concernent uniquement les veaux protégés, la vaccination de la mère est totalement inefficace pour un veau non protégé.

Le paramétrage de cette option est décrit au § *2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes.*

2.2.3.4.1.2.2.2.3 Confort thermique du veau

Le confort thermique du veau constitue un levier dans la prévention de GENNI. En effet un veau dont le stress est réduit (variations thermiques, humidité ambiante…) sera moins susceptible de subir une GENNI. Dans le simulateur, le facteur de risque lié au confort du veau est pris en compte de la manière suivante (adapté d'après (Klein-Jöbstl, Iwersen et Drillich, 2014)) :

Position de la case à veau	Facteur de risque (tous agents confondus)
Intérieur	0,57
Extérieur	1

Tableau 97 : Modulation de l'incidence GENNI liée au confort thermique du veau

L'option de la position de la case à veau est paramétrable (cf. § *2.2.3.4.2.7 Position de la case*).

2.2.3.4.1.2.2.2.4 Gestion de l'hygiène du milieu de vie du veau

L'hygiène est importante pour lutter contre l'apparition de GENNI en élevage laitier. Une hygiène maîtrisée permet de baisser drastiquement la pression d'infection notamment dans l'environnement du veau. Cela concerne en particulier les différents milieux où va vivre le veau, à savoir la case de vêlage ou la case à veau. En pratique, cela passe par exemple par la présence d'une maternité maintenue propre où la mère est isolée pendant le vêlage ou par un nettoyage des cases à veau avant l'arrivée d'un nouveau veau. Dans le simulateur, La gestion de l'hygiène est traduite par un score allant de 1 à 5, 1 reflétant un élevage où aucune maîtrise d'hygiène liée aux lieux de vie du veau n'est faite, et 5 étant un score d'hygiène irréprochable concernant ces milieux. Cela est pris en compte de la manière suivante :

Score de gestion de l'hygiène	Facteur de risque (tous agents confondus)	Référence
1	2	Avis d'experts
2	1.7	
3	1	Adapté d'après (Klein-Jöbstl, Iwersen et Drillich, 2014) et (Bartels *et al.*, 2010)
4	0,6	
5	0.2	

Tableau 98 : Modulation de l'incidence GENNI liée à l'hygiène du milieu

Cette option est paramétrable tel que défini au § *2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène*.

2.2.3.4.1.2.2.2.5 Facteur global de prévention

Une valeur multiplicative permet d'améliorer la prévention des GENNI ou de la réduire. Elle permet de faire intervenir l'effet de facteurs de conduite d'élevage qui exercent une influence sur l'incidence mais ne sont pas explicitement représentés. C'est le cas par exemple de la gestion des repas, les conditions de naissance et des maladies intercurrentes. Ce facteur est modifiable par l'utilisateur (cf. § *2.2.3.4.2.10 Facteur global de prévention des GENNI*).

Par manque de données terrain, le lien pouvant exister entre la souscription d'un contrat de soins vétérinaires et les effets bénéfiques qu'elle apporterait sur la prévention des GENNI n'est pas modélisé dans la version présente du simulateur.

2.2.3.4.1.3 Détection des GENNI

Les GENNI cliniques de gravité G2 sont systématiquement détectées, ce qui n'est pas le cas des GENNI de niveau de gravité G1 dont le taux de détection est paramétrable (cf. § *2.2.3.4.2.1 Sensibilité de la détection des GENNI de faible gravité*).

2.2.3.4.1.4 Evolution et guérison

2.2.3.4.1.4.1 Guérison spontanée

Les GENNI de gravité G1 ne sont pas traitées lorsqu'elles ne sont pas détectées, elles peuvent donc évoluer au niveau de gravité G2 (cf. § *2.2.3.4.1.4.3 Aggravation d'une GENNI*), occasionner la mort du veau (cf. §*2.2.3.4.1.1.3.4.1 Mortalité liée aux pathogènes GENNI affectant le veau*), ou guérir spontanément. La probabilité d'une guérison spontanée peut être modulée en fonction de l'état de protection du veau et du statut vaccinal de la mère (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*).

Cette guérison spontanée survient à la fin de la durée d'épisode définie pour le veau malade comme décrit dans le paragraphe *2.2.3.4.1.4.2 Durée d'une GENNI*.

2.2.3.4.1.4.2 Durée d'une GENNI

La durée de base d'une GENNI varie en fonction de l'agent pathogène en cause. En cas d'infection par de multiples agents pathogènes, la durée d'infection dépend de l'agent pathogène dont les épisodes infectieux sont les plus longs. Dans le simulateur, la gravité de l'épisode infectieux n'influence pas sa durée dans le temps. Pour chacun des pathogènes, les durées sont définies selon les lois suivantes :

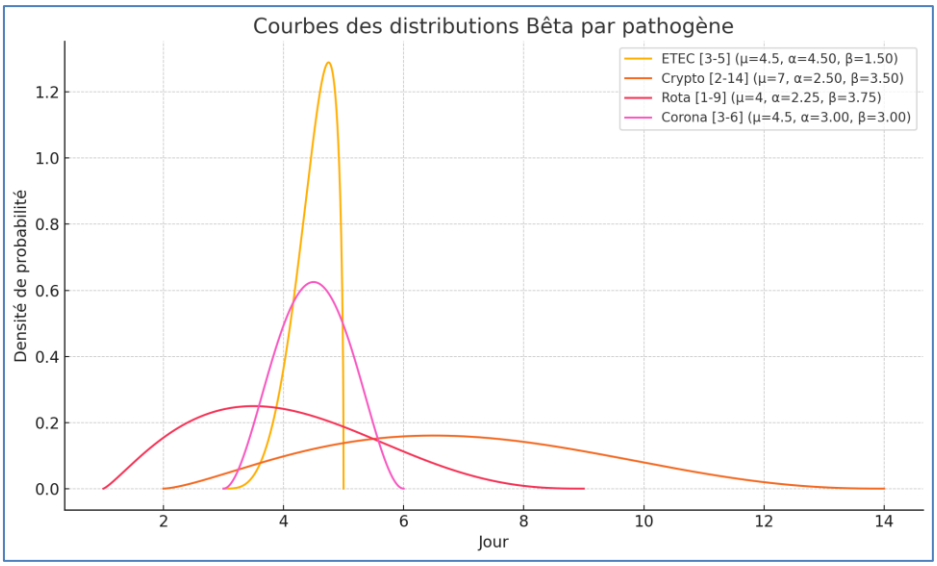


Figure 27 : Loi bêta de distribution des durées de GENNI

Références : ETEC (Lucey *et al.*, 2021), Crypto (Andrews, 2004), Rota (Kohara et Tsunemitsu, 2000) et Corona (Clark, 1993)

Cette durée peut être modulée en fonction de l'état de protection du veau et du statut vaccinal de la mère (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*).

2.2.3.4.1.4.3 Aggravation d'une GENNI

Si les GENNI de gravité G1 ne guérissent pas (spontanément pour les subcliniques ou à la suite d'un traitement pour les cliniques), elles peuvent évoluer vers le niveau de gravité G2. Ces probabilités d'aggravation sont définies de la manière suivante :

Agent pathogène	Probabilité
ETEC	0,35
Crypto	0,15
Rota	0,15
Corona	0,15

Tableau 99 : Probabilité d'aggravation d'une GENNI G1 non détectée en G2

Cette probabilité peut être modulée en fonction de l'état de protection du veau et du statut vaccinal de la mère (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*).

2.2.3.4.1.4.4 Traitements

L'efficacité des traitements et la qualité des acteurs qui les prodiguent dépendent des examens complémentaires qui pourront être menés par le vétérinaire. Les modalités de la réalisation de ces examens sont décrites au paragraphe *2.2.3.4.2.9 Plan de traitement*. Ils comptent comme une activité non planifiée pour l'éleveur et le vétérinaire.

Les examens complémentaires réalisés par le vétérinaire permettent de cibler le traitement selon l'agent pathogène identifié, ce qui représente des coûts de traitement adaptés et un meilleur taux de guérison selon l'agent en cause. Le résultat d'un examen complémentaire est également l'occasion d'adapter le protocole de vaccination des vaches en fonction du pathogène identifié, selon les modalités définies au paragraphe *2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes.*

Les cas de GENNI de gravité G1 détectés (par l'éleveur), s'ils n'entrent pas dans le cadre des examens complémentaires du vétérinaire (modalités ci-dessus) font l'objet d'un traitement non ciblé qu'il prodigue lui-même. La prise en charge des cas de GENNI de gravité G2 qui concernent les veaux mâles est déterminée par un paramètre spécifique qui permet de décider si c'est l'éleveur qui interviendra dans ce cas ou si c'est le vétérinaire selon les modalités ci-dessus.

Lors de l'application d'un traitement ciblé contre l'agent identifié sur le veau examiné, l'éleveur utilisera le même traitement sur les veaux atteints de GENNI durant les 15 jours qui suivent, sans solliciter le vétérinaire

pour un examen complémentaire et donc sans vraiment connaitre le pathogène concerné. Ainsi les veaux atteints par l'agent identifié verront leur chance de guérison améliorée, tandis que les veaux atteints d'un autre agent sur ces 15 jours n'auront pas d'amélioration sur leur guérison.
Le paramétrage de l'efficacité des traitements selon les circonstances est décrit au paragraphe *2.2.3.4.2.9 Plan de traitement*, elle ne dépend pas de l'âge du veau. En revanche, leur coût peut être dépendant de l'âge du veau, il est paramétrable selon les rubriques présentes au paragraphe *2.2.7.1.3 Santé*, de même que celui des examens vétérinaires complémentaires, différencié selon l'option du contrat de soins en vigueur.
Le traitement curatif des GENNI occasionne une activité non planifiée de l'éleveur, renforcée par la venue non planifiée du vétérinaire en cas de gravité G2 pour un soin au veau (cf. *Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé*).

2.2.3.4.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs aux GENNI

2.2.3.4.2.1 Sensibilité de la détection des GENNI de faible gravité

La probabilité qu'une GENNI de gravité G1 soit détectée est paramétrable, la valeur par défaut est de 18% des cas.

2.2.3.4.2.2 Part du type de chaque type d'agents pathogènes dans l'incidence

Il est possible d'ajuster la part d'importance du type d'agent pathogène dans l'incidence. Les valeurs par défaut concernant les infections par un seul agent pathogène sont définies selon le graphique suivant (d'après (Bartels *et al.*, 2010)) :

Agent pathogène	**Profil dominant** (%)			
	Profil moyen (par défaut)	**Profil ETEC**	**Profil Crypto**	**Profil ROTA**
ETEC	**6**	50	3	10
Crypto	**59**	20	80	25
Rota	**31**	25	14	60
Corona	**4**	5	3	5

Tableau 100 : Paramétrage de la part des pathogènes dans l'incidence

2.2.3.4.2.3 Contrôle de la qualité du colostrum et de la gestion de la colostrothèque

Ce paramètre permet de déterminer la pratique l'éleveur concernant la gestion de la qualité du colostrum de son troupeau ainsi que la qualité de sa gestion (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.1 Transfert passif de l'immunité*), c'est-à-dire : pas de colostrothèque et aucun contrôle du colostrum (option par défaut), bonne ou mauvaise gestion d'une colostrothèque avec contrôle à l'aide d'un pèse colostrum ou à l'aide d'un réfractomètre optique.

2.2.3.4.2.4 Temps passé pour le colostrum et quantité reçue

Ce paramètre permet de déterminer la modalité concernant la prise du colostrum des veaux du troupeau (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.1 Transfert passif de l'immunité*), c'est-à-dire : sous la mère (option par défaut), nourri avant ou après 4 heures, avec une quantité inférieure ou supérieure à 4 litres.

2.2.3.4.2.5 Proportion de veaux recevant du colostrum

Ce paramètre permet de déterminer la proportion des veaux prenant du colostrum à la naissance (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.1 Transfert passif de l'immunité*). La valeur doit être comprise entre 0 et 100. La valeur par défaut est 100.

2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes

Un premier paramètre permet de déterminer la modalité de vaccination des vaches gestantes (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*). Elle propose trois possibilités :

- Pas de vaccination des vaches gestantes (par défaut),
- Vaccination des vaches gestantes lorsqu'un cas de GENNI chez un veau du troupeau au cours d'un examen complémentaire, contre le pathogène identifié,

- Vaccination systématique de toutes les mères gestantes contre le ou les pathogènes sélectionnés par le paramètre suivant.

Un second paramètre permet de décider du ou des pathogènes ciblés en cas de vaccination systématique, à savoir :
- ETEC + Rota + Corona (par défaut)
- Crypto
- Tous les agents (injection des deux produits précédents)

En ce qui concerne les activités de l'éleveur relatives à la vaccination et leur coût, ils sont définis ainsi :

<table>
<tr><th rowspan="3">Pathogène ciblé</th><th colspan="3">Modalité de vaccination</th><th colspan="2">Coût engendré (cf. 2.2.7.1.3 Santé)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Vaccination des gestantes lorsqu'un cas de GENNI chez un veau</td><td colspan="2">Vaccination systématique de toutes les gestantes</td><td rowspan="2">Primipare</td><td rowspan="2">Multipare</td></tr>
<tr><td>Vêlages diffus</td><td>Vêlage groupés</td></tr>
<tr><td>ETEC + Rota + Corona</td><td rowspan="3">1 activité non planifiée, lors de la détection</td><td>6 activités planifiées / an</td><td rowspan="3">2 activités planifiées / an</td><td colspan="2">1 vaccin / animal</td></tr>
<tr><td>Crypto</td><td rowspan="2">12 activités planifiées / an du fait de la présence de primipares</td><td>2 vaccins / animal</td><td>1 vaccin / animal</td></tr>
<tr><td>Tous</td><td>3 vaccins / animal</td><td>2 vaccins / animal</td></tr>
</table>

Tableau 101 : Décompte des activités de l'éleveur relatives à la vaccination GENNI des futures mères et coût engendré

2.2.3.4.2.7 Position de la case

Ce paramètre permet de déterminer le choix de l'éleveur sur le positionnement des cases des veaux (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.3 Confort thermique du veau*), c'est-à-dire : à l'intérieur (en bâtiments, valeur par défaut) ou à l'extérieur (hors bâtiments).

2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène

Ce paramètre permet de déterminer le niveau d'hygiène pratiqué par l'éleveur en ce qui concerne la gestion des veaux, notamment sur le positionnement de leur case (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.4 Gestion de l'hygiène du milieu de vie du veau*), selon cinq niveaux allant de 1 à 5. La valeur par défaut est 3.
Un score d'hygiène supérieur ou égal à 3 entraine une activité planifiée à chaque sortie d'un veau (mort, vente ou mise en lot). Le coût forfaitaire des actions d'hygiène est paramétrable au chapitre *2.2.7.1.3 Santé*.
Ce score d'hygiène est également interprété dans le cadre de la gestion de la paratuberculose (voir § *2.2.3.5 Paratuberculose*).

2.2.3.4.2.9 Plan de traitement

Trois modalités sont paramétrables pour les conditions de la réalisation d'examens complémentaires lors de la détection de cas de GENNI. Il s'agit de :
- réaliser l'examen systématiquement lorsqu'un cas de GENNI est détecté (G1 et G2), modalité par défaut,
- réaliser l'examen si l'éleveur constate de nombreux cas sur la période des 7 derniers jours. Le nombre de cas est également un paramètre,
- ne jamais réaliser d'examen complémentaire.

Un paramètre complémentaire permet de définir le nombre de cas déterminant qu'ils sont nombreux, sa valeur par défaut est de 3.

Enfin, un paramètre booléen permet de décider si c'est l'éleveur qui interviendra pour la prise en charge des cas de GENNI de gravité G2 qui concernent les veaux mâles. Sa valeur par défaut est à faux.

Pour ce qui est du paramétrage de l'efficacité des traitements, lorsque les veaux mâles sont traités de la même manière que les veaux femelles, les valeurs par défaut de chacun des types de traitements sont les suivantes (adapté d'après (Virtala, 1996), (Timmermans *et al.*, 2024) et avis d'experts) :

		G1				G2 (prodigué par le vétérinaire*)			
Nom		G1 GENNI treatment for <pathogen>				G2 GENNI treatment for <pathogen>			
Délai avant effet (j)		3				4			
Pathogène		ETEC	Crypto	Rota	Corona	ETEC	Crypto	Rota	Corona
Probabilité de guérison	**Ciblé**	0.80	0.95	0.50	0.50	0,90	0,98	0,95	0,85
	Non ciblé	0,70	0,85	0,50	0,50	0,85	0,95	0,95	0,85

Tableau 102 : Valeurs par défaut du plan de traitement des GENNI, cas général

* Lorsque, selon l'option de prise en charge des cas de gravité G2 des veaux mâles, c'est l'éleveur qui prodigue les soins, les probabilités de guérison sont les suivantes :

ETEC	Crypto	Rota	Corona
0.70	0.90	0.90	0.80

Tableau 103 : Efficacité du traitement prodigués par l'éleveur aux mâles en cas de gravité G2

La probabilité d'une guérison des G1 peut être modulée en fonction de l'état de protection du veau et du statut vaccinal de la mère (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.2 Vaccination de la mère*).

Le contrat de soins vétérinaires s'il est souscrit (cf. § *2.2.3.1.2.7 Option contrat de soins vétérinaires*) permet d'améliorer de 5% le taux de réussite des traitements prodigués contre les cas de GENNI de gravité G2.

2.2.3.4.2.10 Facteur global de prévention des GENNI

Le facteur global de prévention des GENNI (cf. § *2.2.3.4.1.2.2.2.5 Facteur global de prévention*) est paramétrable. Il permet d'améliorer la prévention si sa valeur est supérieure à 1,0 (valeur maximale : 1,5) ou de la réduire si sa valeur est inférieure à 1,0 (valeur minimale 0,2). La valeur par défaut est 1,0.

2.2.3.4.3 Données spécifiques produites relatives aux GENNI

Les données techniques générales concernant les GENNI rencontrés dans le troupeau sont systématiquement produites, elles sont décrites dans les chapitres *2.2.3.6 Données générales de santé produites*. Les données spécifiques concernant l'état quotidien de GENNI des veaux, par pathogène décrites ci-dessous sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur :

Nom du résultat : « GenniCalfSituation<*pathogen*>Results »

Type de production : ponctuelle au 30 jours du veau.

Niveau de l'information : Veau.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Id	integer	Identifiant de l'animal concerné
Day_<day number>	Statut d'infection (*)	Etat du jour
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 104 : Structure des données relatives à l'état quotidien de GENNI des veaux

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

2.2.3.5 Paratuberculose

2.2.3.5.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la paratuberculose

2.2.3.5.1.1 Description de la paratuberculose

La paratuberculose bovine (ou maladie de Johne) est une entérite granulomateuse chronique causée par *Mycobacterium Avium* subsp. *Paratuberculosis* (MAP). Elle touche principalement les ruminants domestiques, provoquant un amaigrissement progressif, une diarrhée chronique et une baisse de production laitière. La transmission se fait majoritairement par voie oro-fécale via l'ingestion de MAP présents dans l'environnement, la seconde voie la plus importante de contamination est verticale in utero, et enfin, une transmission minoritaire par le colostrum ou le lait est possible (Whittington *et al.*, 2019). Le pathogène se multiplie lentement et persiste longtemps dans le milieu extérieur, favorisant son maintien dans les élevages (Kirkeby *et al.*, 2016).

Les souches de type C (cattle type) dominent chez les bovins européens, plus résistantes que les souches de type S (sheep type) dans l'environnement (Whittington *et al.*, 2019). Le seul type de souche modélisé dans le simulateur est le type C.

2.2.3.5.1.1.1 Stades d'infection

Les modèles épidémiologiques individu-centrés ((Kirkeby *et al.*, 2016), (Marcé, 2010)) définissent les stades d'infection comme suit :

Stade	Description
S	Sensible au MAP, non infecté
IT	Infecté transitoire : contamination récente, pas d'excrétion
IL	Infecté latent : infection persistante, excrétion négligeable
IM	Infecté subclinique : Excrétion modérée, sérologie positive
IC	Infecté clinique : Excrétion importante ou massive, signes cliniques
R	Animal de plus d'1 an ne pouvant plus être infecté

Tableau 105 : Définition des stades d'infection de la paratuberculose

La potentielle excrétion que l'animal peut engendrer est décrite dans le paragraphe *2.2.3.5.1.2.1 Contribution individuelle (excrétion)*.

2.2.3.5.1.1.1.1 Sensible (S)

Le stade sensible (S) correspond à un animal non infecté par MAP. Il est négatif sérologiquement et ne présente pas un état clinique altéré.

2.2.3.5.1.1.1.2 Réfractaire (R)

Le stade réfractaire (R) est associé aux animaux qui sont restés sensibles jusqu'à 1 an d'âge. Ils deviennent alors réfractaires, rendant impossible toute transition avec un autre stade de la maladie.

2.2.3.5.1.1.1.3 Infecté transitoire (IT)

Le stade infecté transitoire (IT) est assigné à l'animal qui vient de s'infecter. A ce stade, il ne présente pas de signes cliniques. L'évolution sera forcément le stade infecté latent. La transition d'infecté transitoire (IT) à infecté latent (IL) est modélisée chaque jour, par un tirage de Bernoulli de probabilité 1/Vt où Vt est la durée moyenne de la phase infectée transitoire : ici Vt = 168 jours (van Roermund *et al.*, 2007). Sinon la génisse infectée transitoire (IT) qui n'est toujours pas passée infectée latente (IL) le passera au moment de son premier vêlage. Ainsi, la génétique permet uniquement de maximiser les chances de ne pas s'infecter mais une fois l'animal infecté, il a autant de chance de passer au stade suivant et ce peu importe sa génétique.

2.2.3.5.1.1.1.4 Infecté latent (IL)

Le stade infecté latent (IL) suit le stade infecté transitoire (IT). Un animal ne peut pas sortir de ce stade avant 1 an de vie. A ce stade, l'animal ne présente aucun signe clinique et est presque impossible à dépister. L'évolution de ce stade sera forcément le stade infecté subclinique (IM). La transition est modélisée chaque jour à partir de son premier anniversaire, par un tirage de Bernoulli de probabilité 1/Vl où Vl est la durée

moyenne de la phase latente nous avons établi ici Vl = 730 jours (Nielsen et Ersbøll, 2006). Un animal peut rester infecté latent (IL) toute sa vie s'il n'évolue pas spontanément vers le stade infecté subclinique (IM).

2.2.3.5.1.1.1.5 Infecté subclinique (IM)

Le stade subclinique (IM) suit le stade infecté latent (IL). A ce stade, l'animal présente une faible baisse de production laitière ainsi qu'un léger impact sur sa valeur d'abattage (voir paragraphe *2.2.3.5.1.1.2.3 Impact sur la valeur à* l'abattage). L'évolution de ce stade sera forcément le stade infecté clinique (IC). La transition d'infecté subclinique (IM) à infecté clinique (IC) est modélisée chaque jour, par un tirage de Bernoulli de probabilité 1/Vm. Avec Vm la durée moyenne de la phase subclinique et nous avons pu fixer Vm = 728 jours (Nielsen et Ersbøll, 2006).

2.2.3.5.1.1.1.6 Infecté clinique (IC)

Le stade infecté clinique (IC) suit le stade infecté subclinique (IM). A ce stade, l'animal présente une baisse conséquente de production laitière ainsi qu'un impact important sur sa valeur d'abattage (voir paragraphe *2.2.3.5.1.1.2.3 Impact sur la valeur à l'abattage*).

L'évolution de ce stade est la réforme systématique.

2.2.3.5.1.1.2 Conséquences de la paratuberculose

2.2.3.5.1.1.2.1 Augmentation de la réforme

L'infection à MAP et la maladie incurable qu'elle occasionne impose aux éleveurs de réformer les vaches dont les tests sérologiques reviennent positifs (voir chapitre *2.2.3.5.1.1.2.5 Mortalité et risque de réforme*) ou les vaches possédant des index génétiques augmentant leur sensibilité à la paratuberculose. Ainsi, les recommandations actuelles concernant la stratégie de réforme à adopter sont présentées ci-dessous et pourront être utilisées pour les simulations (Synetics, 2024) :

- Les femelles contaminées ou très sensibles (si génotypage) sont réformées pour éviter la contamination.

- Les femelles saines mais sensibles sont inséminées avec un taureau croisement viande pour éviter le risque de conserver une descendance sensible si le scénario comprend le génotypage et la stratégie de croisement paratuberculose.

- Les femelles saines génétiquement standard ou résistantes sont inséminées avec les taureaux résistants à la paratuberculose (RPTB) adaptés, en semence sexée, Fertimax ou conventionnelle dans le cas où le génotypage est compris dans le scénario et selon la stratégie d'insémination mise en place

- Quelques lignées de haut niveau génétique mais sensibles peuvent être sauvées en utilisant absolument des taureaux RPTB pour obtenir une descendance plus résistante.

2.2.3.5.1.1.2.2 Diminution accrue de la production laitière

En fonction de leur état d'infection, les vaches peuvent présenter une baisse de production laitière variable selon le stade de la maladie (L. Smith *et al.*, 2016) :

Stade	Diminution de la production laitière en kilos / jours
IT, IL	Aucune diminution (*)
IM	−1.4 – 0.09 × MthP (**)
IC	−4.0 – 0.7 × MthP (**)

Tableau 106 : Diminution de la production laitière en fonction du stade d'infection paratuberculose

(*) Les animaux en stade latent peuvent montrer une production laitière augmentée (McAloon *et al.*, 2016). Cet effet n'est pas pris en compte dans le modèle.

(**) MthP : nombre de mois passés dans le stade d'infection correspondant.

Ces effets sur la production laitière dans notre modélisation sont probablement sous-estimés. En effet, la réforme précoce des animaux cliniques limite la quantité de données disponibles dans la littérature sur l'évolution de leur production laitière dans le temps (L. Smith *et al.*, 2016).

2.2.3.5.1.1.2.3 Impact sur la valeur à l'abattage

La maladie n'affecte pas directement l'appétit, mais provoque une malabsorption intestinale liée à l'entérite granulomateuse. L'animal consomme normalement mais s'amaigrit progressivement, traduisant une perte d'efficacité digestive (Whittington *et al.*, 2019). Cela entraîne une perte de poids de carcasse, donc de valeur à l'abattage et parfois en cas d'animal clinique, une saisie totale à l'abattoir. Comme le poids de l'animal n'est pas modélisé dans le simulateur, les conséquences seront uniquement visibles sur la valeur d'abattage.

Un animal latent n'a pas encore de perte de poids. Pour un animal infecté subclinique (IM) l'impact est évalué à 15% de la valeur d'abattage. Ce chiffre atteint les 47.6% pour une vache infectée clinique (IC) (Kudahl et Nielsen, 2009).

2.2.3.5.1.1.2.4 Impact sur la sensibilité aux autres maladies

La paratuberculose induit une immunodépression progressive (déséquilibre Th1/Th2), favorisant les infections opportunistes, notamment les mammites et les métrites (Sweeney, 1996). Cependant, en raison du manque de données numériques et bibliographiques sur une corrélation entre l'impact de l'infection à la paratuberculose sur la sensibilité aux autres maladies, cet impact ne sera pas modélisé.

2.2.3.5.1.1.2.5 Mortalité et risque de réforme

Les vaches au stade clinique (IC) présentent une probabilité de réforme ou de mortalité proche de 100 % dans les 6 à 12 mois suivant l'apparition des signes (Marcé, 2010). Dans ce modèle, les animaux cliniques sont réformés rapidement dans le mois suivant un résultat positif pour la paratuberculose. Partant du principe qu'un test PCR est systématiquement réalisé en cas de test ELISA négatif, l'on considère que le diagnostic ne souffre d'aucun problème de sensibilité et affiche une fiabilité de 100% et cas de résultat positif. Ainsi, les cas cliniques ne resteront pas assez longtemps dans le troupeau pour prendre en compte leur mortalité.

Pour autant, nous avons fixé une limite de réforme dans le simulateur pour les vaches à un stade avancé de gestation. Passé ce stade, la réforme ne pourra avoir lieu qu'après le vêlage. Bien que la réglementation européenne (Règlement CE n° 1/2005) interdise le transport des animaux dans leur dernier dixième de gestation (252 jours), nous avons fixé cette limite à 210 jours. En effet, cette limite est souvent retenue par les éleveurs et les abattoirs afin de prévenir les risques de mise-bas imprévue, de dystocie et de stress physiologique majeur. Ce choix est en accord avec les recommandations scientifiques de l'EFSA (2022) sur le transport des bovins. En revanche, les animaux dépistés cliniques gestants depuis moins de cette limite seront réformés conformément aux recommandations des GDS pour les plans paratuberculose, c'est-à-dire dans les 2 semaines à 30 jours (appliquée dans le simulateur selon une distribution uniforme). Ce sera également le cas des animaux révélés positifs subclinique à l'occasion d'un dépistage régulier préventif (voir paragraphe *2.2.3.5.1.4.2 Utilisation pratique des tests*) s'ils ne sont pas gestants. Pour les animaux subcliniques gestants leur réforme ne sera réalisée qu'à l'issue du vêlage.

2.2.3.5.1.2 Quantité de MAP

Afin de modéliser au mieux la transmission de la paratuberculose aux animaux, il nous fallait ajouter un compartiment environnemental inexistant auparavant dans le simulateur. Ainsi, nous pouvons dès lors modéliser une contamination environnementale par MAP par les individus adultes excréteurs à différents stades. Nous avons alors fait le choix de modéliser un seul compartiment avec un environnement d'élevage global au sein duquel les individus seraient tous en contact et ce, indépendamment de leur âge. Ce choix repose à la fois sur la simplification requise liée à la simulation informatique mais également sur des situations pouvant être rencontrées dans des élevages subissant les effets de la paratuberculose.

L'équation permettant de calculer le niveau de contamination de l'environnement global du jour Eg(t) est la suivante :

$$Eg(t) = Eg(t-1) * (1-\mu) + \sum_{i \in infectieux} Excrétion$$

Avec :

- Excrétion : la contribution individuelle de l'animal
- μ : la destruction spontanée des MAP avec le temps

2.2.3.5.1.2.1 Contribution individuelle (excrétion)

Pour estimer la quantité de MAP émises par un animal, nous attribuons à chaque individu un niveau d'excrétion par kg de fèces produit, niveau qui reste le même tout au long de la durée du stade de la maladie. Puis, en connaissant la quantité de fèces produite du jour (voir § *2.2.6.1.2 Féces produites*) il sera possible de connaitre sa contribution dans l'environnement global et donc sa contamination, en réalisant le produit des deux.

Le niveau d'excrétion dépend du stade de la maladie :

Stade	**Niveau d'excrétion pour un kg de fèces**
S	Pas d'excrétion
IT	Pas d'excrétion(*)
IL	Pas d'excrétion
IM	Loi de probabilité : $10^{(4+10*beta(2.65,17))}$ avec pour minimum 10^4 et pour maximum 10^{15} MAP (Marcé, 2010)
IC	Loi de probabilité : $10^{(8+10*beta(2,17))}$ avec pour minimum 10^8 et pour maximum 10^{15} MAP (Marcé, 2010)(**)
R	Pas d'excrétion

Tableau 107 : Niveau d'excrétion de MAP dépendant du stade de la maladie

(*) Dans la littérature, il est mentionné que le stade infecté transitoire peut excréter (van Roermund *et al.*, 2007). Cependant, nous avons estimé que les infectés transitoires participent à une part négligeable de l'excrétion totale de MAP dans l'environnement général. En effet, des modélisations R nous ont permis d'évaluer cette part entre 10-4 et 10-5 de l'excrétion totale du troupeau. L'excrétion de ces animaux ne sera donc pas prise en compte.

(**) Nous avons fait le choix de ne pas considérer les infectés cliniques super excréteurs comme étant un stade à part, mais plutôt de déterminer le niveau d'excrétion des super excréteurs comme étant supérieur à un seuil (voir tableau ci-après). L'excrétion des animaux IC a une répartition compatible avec la littérature en ce qui concerne la proportion de super excréteurs (Aly *et al.*, 2012).

En termes de classification des individus en fonction de leur niveau d'excrétion, nous estimons que les catégories sont déterminées selon les plages de valeur suivantes :

Catégorie d'excréteur	**Plage de valeurs (en UFC MAP/kg de fèces)**	Source
Non excréteur ou non détectable	0 à 31 UFC/kg	(Magombedze, Eda et Koets, 2016)
Faible excréteur	31 à 10^3 UFC/kg	(Magombedze, Eda et Koets, 2016) (Field, Mee et McAloon, 2022)
Excréteur modéré	10^3 à 10^{10} UFC/kg	(Corbett *et al.*, 2018) (Laurin *et al.*, 2015)
Super excréteur	Au-delà de 10^{10} UFC/kg	(Corbett *et al.*, 2018) (Aly *et al.*, 2012)

Tableau 108 : Classification des individus en fonction de leur niveau d'excrétion

2.2.3.5.1.2.2 Destruction spontanée (μ)

La contamination journalière de l'environnement tient compte de la destruction spontanée des MAP au jour le jour, c'est-à-dire l'élimination progressive des MAP dans l'environnement μ (Jørgensen, 1982) et ajoute à la contamination résiduelle du milieu les nouvelles excrétions de MAP ayant eu lieu dans la journée. D'après (Gao *et al.*, 2025), le taux de décroissance μ est estimé à 0,150 par semaine et donc de 0,021 environ par jour ce qui correspond au temps de demi-vie de MAP d'approximativement 4,61 semaines dans l'environnement.

2.2.3.5.1.3 Incidence de la paratuberculose

Pour l'ensemble des simulations que nous réalisons, nous considérons que les veaux sont séparés de leur mère dès la naissance sans possibilité de téter la mamelle de la mère. Ils sont nourris avec du colostrum issu d'une banque colostrale et ensuite avec du lait en poudre.

2.2.3.5.1.3.1 Voies de contamination et périodes à risque

Plusieurs voies de contamination intervenant à différentes périodes peuvent être considérées à risque pour l'infection à la paratuberculose.

2.2.3.5.1.3.1.1 Voie oro-fécale

La période néonatale (0–6 mois) représente le moment le plus critique. Durant cette période, les veaux sont extrêmement sensibles à l'infection oro-fécales qui est la voie majoritaire amenant un individu à s'infecter à MAP du fait du contact avec l'environnement dans lequel il se trouve (incluant le cas échéant la tétée d'une mère infectée et le fait d'être au contact de fécès d'adultes infectés) (Kirkeby *et al.*, 2016). Etant négligeable après un an, il est considéré dans le simulateur comme n'existant plus, les individus de plus d'un an ne pourront donc pas s'infecter dans notre modélisation ((Camanes *et al.*, 2018), (Marcé, 2010)), le statut « R » leur sera alors affecté. Aussi, pour traduire cette tendance, nous avons utilisé une distribution basique suivante : $\exp(-0.01 * a_{jours})$ (Kirkeby, Græsbøll et Halasa, 2018). Ce qui revient à 2.6% à 1 an (Kirkeby *et al.*, 2016).

L'équation globale qui permet de calculer la probabilité quotidienne pour un individu de s'infecter en MAP durant sa première année de vie par cette voie de contamination majeure qui intègre la probabilité d'infection via la tétée et la probabilité d'infection via son environnement est la suivante :

$$P_i(t) = 1 - \exp\left(-\exp(-0.01 * a_{jours}\right) * S_i * \frac{\beta_{jour} * E(t)}{\alpha N(t)} * H)$$

Avec :

- $P_i(t)$ la probabilité d'infection d'un individu par la voie oro-fécale
- $\exp(-0.01 * a_{jours})$: Terme de susceptibilité, qui diminue avec l'âge
- β_{jour} : Taux de transmission si une dose infectieuse est présente dans l'environnement. Il avait été estimé à $5*10^{-5}$ par jour pour l'environnement local et à $9.5*10^{-7}$ par jour pour l'environnement global (van Roermund *et al.*, 2007). Du fait de notre modélisation ne comprenant qu'un environnement global, cette donnée a été déterminée à $7*10^{-7}$ à l'issue d'une calibration.
- $E(t)$: Quantité de bactéries (Map) dans l'environnement général
- $N(t)$: Nombre d'animaux dans cet environnement général
- α : Dose infectieuse = 10^6 Map (Sweeney, 2006).
- H : Le facteur de risque lié à l'hygiène (voir § *2.2.3.5.1.3.2.2 Modulation liée à la conduite de l'élevage*)
- S_i : le potentiel individuel relatif à la sensibilité à la paratuberculose, dépendant de la performance corrigée de l'index RPTB de l'animal considéré (cf § *2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte*).

Cette équation est appliquée chaque jour à chaque animal « S » (Susceptible).

2.2.3.5.1.3.1.2 Voie in utéro

La paratuberculose est une maladie pour laquelle une transmission in utero a été démontrée. Il s'agit de la deuxième voie de transmission en termes d'importance. Ainsi, il était essentiel d'inclure cela dans notre modèle. Pour des soucis de praticité et grâce à la bibliographie disponible sur le sujet, la transmission in utero est modélisée comme une probabilité fixe au moment du vêlage : 9% pour les individus infectés subcliniques (IM) et latents (IL) et 39% pour les individus infectés cliniques (IC) (Windsor et Whittington, 2010).

Ainsi, pour chaque naissance, un tirage de Bernoulli avec remise est réalisé afin de déterminer si le veau est infecté ou non en fonction du statut de sa mère. Les naissances sont considérées comme une succession d'événements indépendants.

Les gènes identifiés ayant un rôle dans la résistance à la paratuberculose sont principalement impliqués dans la réponse immunitaire locale (intestinale) face à une exposition oro-fécale (Sanchez *et al.*, 2020). Lors de l'infection par la paratuberculose par voie in utero, la transmission se fait via échange de sang entre la mère et le fœtus, sans intervention de la voie intestinale.

Aucune étude n'a pour le moment été réalisée concernant le lien entre l'index génomique du fœtus et la conséquence sur sa probabilité d'infection in utero. Ainsi, en raison du manque d'informations disponibles, nous avons fait l'hypothèse que l'index génomique du futur veau ne conditionnera pas sa probabilité d'infection in-utero. Cette probabilité dépend uniquement du statut de la mère vis-à-vis de la maladie.

2.2.3.5.1.3.1.3 Voie via le lait et le colostrum

Un veau peut également se contaminer via le lait ou le colostrum qu'il boit. Cela est plus rare et la contamination via ces voies uniquement est réduite mais existe.

Cette voie de contamination a longtemps été surestimée, il y a bien excrétion de MAP dans le lait et le colostrum mais un veau ayant été nourri par du colostrum contaminé n'aurait pas significativement plus de chances qu'un autre veau d'être infecté (Pithua, Wells et Godden, 2011).

De plus, cette voie de contamination peut être considérée comme nulle si l'on considère que le couple mère-veau est séparé dans les 2 heures post vêlage, que les veaux boivent du lait en poudre et que le colostrum distribué provient uniquement de mères saines (Kirkeby *et al.*, 2016).

Nous avons fait le choix, par conséquent, de ne pas modéliser la contamination des veaux par le lait et le colostrum.

2.2.3.5.1.3.1.4 Transmission directe veau à veau

Une contamination veau à veau par inhalation a été démontrée dans une étude réalisée par (Eisenberg *et al.*, 2012). Cependant, elle reste très faible et peut donc être considérée comme minoritaire dans notre modèle. De plus, nous nous plaçons dans une situation où nous ne modélisons qu'un seul compartiment général à savoir l'environnement global (voir paragraphe *2.2.3.5.1.2 Quantité de MAP*). La contamination de cet environnement par MAP est alors largement assurée par les adultes infectés (subcliniques et cliniques). Nous avons donc pris la décision de ne pas modéliser la transmission veau à veau.

2.2.3.5.1.3.2 Modulation du risque d'incidence

2.2.3.5.1.3.2.1 Modulation liée à la génétique

Comme décrit au chapitre *2.2.3.5.1.3.1.1 Voie oro-fécale*, la génétique de l'animal intervient sur sa résistance à la maladie par son index RPTB. Cet index est détaillé au chapitre *2.2.4 Génétique*.

2.2.3.5.1.3.2.2 Modulation liée à la conduite de l'élevage

Dans la réalité, les risques augmentent avec la densité d'animaux dans le bâtiment, la cohabitation veaux–adultes, la non-séparation des vêlages, le recyclage de lait non pasteurisé ou de colostrum contaminé et la mauvaise gestion du fumier. L'absence de données bibliographiques précises à ce sujet ne nous permet pas de décrire l'effet de chaque modulation. Etant donné qu'il existe déjà dans la partie GENNI un paramètre lié au niveau d'hygiène (voir § *2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène*) et pour éviter la création d'un nouveau paramètre, le facteur relatif au niveau d'hygiène qui sera mis en œuvre pour la PTB sera l'inverse des valeurs décrites en tant que facteur de risque du *Tableau 98 : Modulation de l'incidence GENNI liée à l'hygiène du milieu*.

2.2.3.5.1.3.2.3 Impact saisonnier sur l'incidence

Les vêlages concentrés en hiver favorisent la transmission veau–veau et adulte–veau par confinement. Les périodes sèches estivales réduisent la survie environnementale du MAP (Whittington *et al.*, 2019). Pour autant, ces variations ne sont pas modélisées dans le simulateur.

2.2.3.5.1.3.2.4 Contrat de soins vétérinaires

La gestion de la paratuberculose repose sur un suivi sanitaire global (tests, biosécurité, réforme) qui ne dépend pas d'une souscription à un contrat de soins vétérinaires. Des plans paratuberculose sont ainsi mis en place par les différents groupements de défense sanitaire (GDS) variables selon les départements, ils permettent de prendre en charge une partie des frais occasionnés par le dépistage, que ce soit en préventif ou lors d'une suspicion de cas. Les tarifs sont décrits dans le *Tableau 134 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la santé*.

2.2.3.5.1.3.3 Calibrage

Selon (Marcé *et al.*, 2011), dans un troupeau infecté (et sans souscription à un contrat de soins vétérinaires), environ :

- 70–80 % des animaux infectés sont à un stade latent (IL),
- 15–20 % sont modérément infectés (IM),
- 5–10 % atteignent le stade clinique (IC).

Ces proportions dépendent du niveau d'hygiène, de la densité animale et de la dynamique d'introduction de MAP (Kirkeby *et al.*, 2016).

La prévalence de paratuberculose apparente intra-troupeau varie fortement en fonction des élevages : en France, elle varie de 2,7% à 22% maximum (Nielsen et Toft, 2009). Cette prévalence est sous-estimée à cause d'une sensibilité mauvaise des tests ELISA utilisés sur le terrain : la prévalence réelle varierait entre 0 et 60% (Camanes *et al.*, 2018). Avec une prévalence intra-troupeau de 5%, la proportion de super excréteurs comprise dans les individus cliniques dans le modèle de Clara Marce sont conformes à la prévalence de 0.5% estimée dans la littérature (Aly *et al.*, 2012).

Le paramétrage par défaut du simulateur devra permettre de retrouver ces tendances.

2.2.3.5.1.4 Détection des cas de paratuberculose

Le dépistage de la paratuberculose repose sur la réalisation de tests variables.

2.2.3.5.1.4.1 Description des tests utilisés

Les tests sont adaptés au stade clinique de l'animal, à sa génétique si le génotypage est mis en place, ils incluent les test ELISA et le test PCR. Ces tests sont majoritairement utilisés sur le terrain. Leur sensibilité très variable en fonction du stade de l'infection ne permet pas un dépistage très efficace de la maladie et engendrent une sous-estimation de la prévalence réelle dans l'élevage (Clark *et al.*, 2008).

2.2.3.5.1.4.1.1 Test ELISA sérique

Les caractéristiques de ce type de test sont les suivantes (Nielsen et Toft, 2009) :

Stade clinique	**Sensibilité** (%)(*)	**Spécificité** (%)
IL	15	98
IM	50	
IC	88(**)	
IC super excréteurs(***)	97	

Tableau 109 : Caractéristiques du test ELISA

(*) estimation des sensibilités des tests ELISA sérologiques en faisant le lien entre l'excrétion de MAP et le stade clinique de la maladie grâce aux études de (BRUGEL, 2014) et de (Roussel *et al.*, 2005)

(**) possibilité de compléter par une PCR si l'individu est clinique mais qu'il a eu un résultat négatif au test (Se=100%)

(**) voir paragraphe *2.2.3.5.1.2.1 Contribution individuelle (excrétion)*

2.2.3.5.1.4.1.2 Test PCR fécale

Dans le cadre de notre simulateur, les sensibilités et spécificités ne seront pas prise en compte. En effet, un test PCR n'est réalisé que dans le cadre d'un animal clinique qui a déjà été dépisté mais négativement par ELISA. Dans ce cadre nous considérons que l'excrétion de l'animal est déjà importante et donc que la sensibilité est de 1.

2.2.3.5.1.4.2 Utilisation pratique des tests

Différentes stratégies de dépistage peuvent être utilisées dans ce modèle. Les pratiques pourront être paramétrées (cf. § *2.2.3.5.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la paratuberculose*), elles permettront de mettre en place ces différentes stratégies. Le dépistage a systématiquement lieu dans le cadre d'un « plan paratuberculose » ou tout du moins dans un cadre incitatif, ce qui permet de pratiquer une tarification réduite des prix des tests par une prise en charge d'une partie par le GDS.

2.2.3.5.1.4.2.1 Stratégie de test des vaches cliniques

La première stratégie ne comprend pas de prophylaxie : on teste uniquement les animaux cliniques quand il y en a (ELISA sérique puis culture par PCR quantitative si le test ELISA est négatif). Le dépistage a lieu un mois après le passage au stade clinique (IC), il s'agit du délai nécessaire à l'éleveur pour réaliser une suspicion clinique. Cette modalité compte comme une activité non planifiée de la part de l'éleveur et du vétérinaire pour chaque animal dépisté. Cette stratégie est mise en œuvre dès le début de la simulation, au fur et à mesure des cas cliniques rencontrés.

2.2.3.5.1.4.2.2 Stratégie de dépistage régulier

Une deuxième stratégie consiste à compléter la première en réalisant un dépistage régulier consistant à tester annuellement de toutes les vaches non cliniques de plus de 24 mois du troupeau par test ELISA uniquement, réalisé le premier jour de l'exercice. Cette modalité compte comme une seule activité globale planifiée de la part de l'éleveur et du vétérinaire si au moins un animal est dépisté. Ce dépistage préventif est mis en œuvre à partir du moment à la stratégie génétique PTB a débuté (voir § *2.2.4.2.2 Stratégie génétique*).

2.2.3.5.1.4.2.3 Stratégie de dépistage régulier et espacés

Une troisième stratégie est équivalente à la deuxième, à ceci près que les tests ne sont réalisés que tous les deux ans pour les animaux résistants. Elle impose donc les tests génomiques à la naissance, ce qui est systématiquement le cas lorsque la stratégie génétique privilégie l'index RPTB.

Le seuil de résistance est déterminé par une valeur génétique vraie supérieure à 0.5. Cette valeur se justifie par le fait que lorsque l'on calcule le risque relatif pour un individu (égal au facteur de sensibilité à la maladie), on obtient un risque d'infection divisé par deux pour des individus ayant une valeur génétique vraie de 0,5.

NB : il est important ici de s'intéresser au calcul de la performance. En effet, nous faisons intervenir la valeur d'index en y ajoutant la moyenne des index génomiques de la population de vaches Prim'Holstein nées en France à partir de 2020. Cela correspond avec le fait que la répartition des index génomiques dans la population suit une loi normale centrée sur M = 0,1901 (voir § *2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte*). Ainsi, dans le calcul du risque relatif, une valeur génétique vraie de 0,5 correspond en réalité à une valeur d'index de 0,69 avec l'ajout de la moyenne au calcul.

Lorsque qu'elle est adoptée, cette stratégie est mise en œuvre dans les mêmes délais que la stratégie précédente.

2.2.3.5.1.5 Evolution et guérison de la paratuberculose

Les différents états de santé liés à la tuberculose se succèdent selon de diagramme suivant :

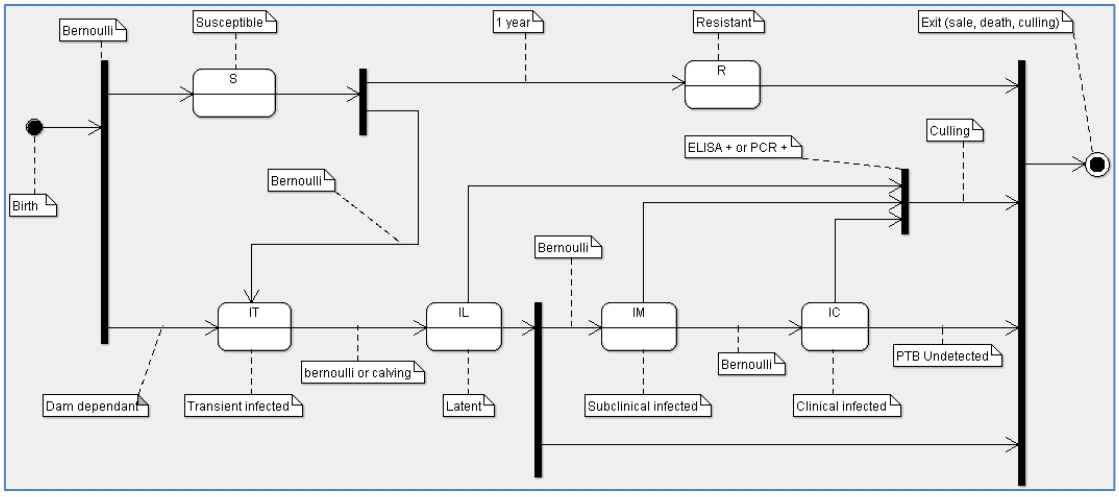


Figure 28 : Etats et transitions du modèle épidémiologique de la paratuberculose

2.2.3.5.1.5.1 Guérison spontanée

De rares cas de **contrôle immunitaire précoce** (phase Th1 efficace) menant à une élimination partielle du pathogène (Whittington *et al.*, 2019) ont été constatés dans la littérature. En ce qui concerne la guérison induite par la super infection contrôlée, aucune donnée claire ne sont disponibles, même si certains modèles intègrent un effet « d'immunité croisée » diminuant la sensibilité aux réinfections (Marcé, 2010).

Nous avons considéré ces cas comme trop isolés, le choix a été fait de ne pas les inclure dans la modélisation.

2.2.3.5.1.5.2 Aggravation d'une infection

Le stress métabolique ou les co-infections peuvent réactiver une infection subclinique persistante, menant à un passage d'IL à IM (Marcé, 2010).

La probabilité de passer de l'état latent à l'état subclinique est de 1/vl état à l'autre est 1/vt avec vl la durée moyenne de la période latente. On utilise donc une loi binomiale de probabilité 1/vl avec un tirage avec remise chaque jour. Un animal ne peut pas sortir de la phase de latence avant d'avoir atteint 1 an d'âge.

Par ailleurs, des vaches subcliniques peuvent être super excrétrices sans signe visible, favorisant la dissémination cachée du MAP (Kirkeby *et al.*, 2016). Ceci est pris en compte dans l'excrétion des vaches subcliniques décrites dans le paragraphe *2.2.3.5.1.2.1 Contribution individuelle (excrétion)*.

2.2.3.5.1.5.3 Guérison à la suite des traitements

Aucun traitement efficace n'existe actuellement. Les antibiotiques anti-mycobactériens (clarithromycine, rifabutine) sont inefficaces à long terme et interdits en production laitière (Whittington *et al.*, 2019).

2.2.3.5.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la paratuberculose

2.2.3.5.2.1 Apparition de cas de paratuberculose

Ce paramètre est une valeur entière qui permet de faire entrer la maladie dans le troupeau au moment où la simulation démarre en forçant le nombre d'animaux souhaité parmi les sensibles présents à passer à l'état IT de manière stochastique.

La valeur est à 0 par défaut avec un maximum de 10.

2.2.3.5.2.2 Hygiène

Le paramètre relatif à la gestion de l'hygiène du troupeau est décrit dans le chapitre *2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène*.

2.2.3.5.2.3 Génotypage

En ce qui concerne l'option de génotypage, elle dépend de la stratégie génétique adoptée et qui est décrite au paragraphe *2.2.4.2.2 Stratégie* génétique.

2.2.3.5.2.4 Stratégie de test

Ce levier permet de déterminer la stratégie adoptée pour les tests (cf. § *2.2.3.5.1.4.2 Utilisation pratique des tests*). Les différentes valeurs sont :

- Vache cliniques uniquement (par défaut),
- Dépistage régulier.
- Dépistage régulier espacé. Cette dernière option n'est réalisée que si la stratégie génétique est priorité RPTB car c'est celle-ci qui permet de réaliser le génotypage. Dans le cas contraire, c'est un simple dépistage régulier qui est mis en œuvre.

2.2.3.5.3 Données produites relatives à la paratuberculose

Les données produites relatives à la paratuberculose sont systématiquement produites, elles sont décrites dans les chapitres *2.2.3.6 Données générales de santé produites*.

2.2.3.6 Données générales de santé produites

Les données générales de santé qui sont produites concernent les données techniques annuelles liées aux maladies gérées. Elles sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
G1_ketosis_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de cétoses subcliniques / nombre de vaches qui vêlent dans la campagne (pourcentage)
G2_ketosis_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de cétoses cliniques / nombre de vaches qui vêlent dans la campagne (pourcentage)
Subclinical_mastitis_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de mammites subcliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
Clinical_mastitis_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de mammites cliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
G1_non_infectious_lameness_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de boiteries subcliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
G2_non_infectious_lameness_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de boiteries cliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
G1_infectious_lameness_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de boiteries subcliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
G2_infectious_lameness_occurency_by_cow	real	Nombre de cas de boiteries cliniques / nombre de vaches présentes (pourcentage)
Mastitis_mortality_by_cow	real	Nombre de vaches mortes de mammite / nombre de vaches présentes (pourcentage)
Ketosis_mortality_by_cow	real	Nombre de vaches mortes de cétose / nombre de vaches présentes (pourcentage)
Non_infectious_lameness_mortality_by_cow	real	Nombre de vaches mortes de boiterie non infectieuse/ nombre de vaches présentes (pourcentage)
Infectious_lameness_mortality_by_cow	real	Nombre de vaches mortes de boiterie infectieuse / nombre de vaches présentes (pourcentage)
Undetected_G1_genni_occurency_by_calve	real	Nombre de cas de GENNI de gravité G1 non détectés / nombre de naissances (pourcentage)
Detected_G1_genni_occurency_by_calve	real	Nombre de cas de GENNI de gravité G1 détectés / nombre de naissances (pourcentage)
G2_genni_occurency_by_calve	real	Nombre de cas de GENNI de gravité G2 / nombre de naissances (pourcentage)
Genni_occurency_by_calve	real	Nombre de cas de GENNI / nombre de naissances (pourcentage)

Genni_death_calve_by_calve	real	Nombre de veaux morts de GENNI / nombre de naissances (pourcentage)
PTB_IT_occurency_count	integer	Nombre d'occurrences du statut PTB correspondant au cours de l'exercice (incidence)
PTB_IL_occurency_count	integer	
PTB_IM_occurency_count	integer	
PTB_IC_occurency_count	integer	
PTB_S_count	integer	Nombre d'animaux ayant le statut PTB correspondant en fin d'exercice (prévalence)
PTB_R_count	integer	
PTB_IT_count	integer	
PTB_non_adult_IL_count	integer	
PTB_adult_IL_count	integer	
PTB_IM_count	integer	
PTB_IC_count	integer	
PTB_positive_preventive_elisa_test_count	integer	Nombre de tests de dépistage positifs réalisés au cours de l'exercice sur des animaux avant l'atteinte du stade clinique
PTB_current_MAP_quantity	float	MAP courante en fin d'exercice
PTB_S_state_by_animal	float	Nombre d'animaux à l'état PTB de correspondant / nombre d'animaux en fin d'exercice (pourcentage)
PTB_R_state_by_animal	float	
PTB_IT_state_by_animal	float	
PTB_IL_state_by_animal	float	
PTB_IM_state_by_animal	float	
PTB_IC_state_by_animal	float	
PTB_IT_by_calve	float	Nombre de veaux nés à l'état PTB d'IT / nombre de naissances (pourcentage)
Health_treatment_count	integer	Nombre de traitements pour troubles de la santé
Curative_clinical_ketosis_vet_treatment_count	integer	Nombre de traitements pour chaque catégorie de troubles de la santé
Curative_subclinical_ketosis_farmer_treatment_count	integer	
Curative_clinical_mastitis_vet_treatment_count	integer	
Curative_clinical_mastitis_farmer_treatment_count	integer	
Preventive_ketosis_farmer_treatment_count	integer	
Preventive_mastitis_farmer_treatment_count	integer	
Curative_clinical_lameness_vet_treatment_count	integer	
Preventive_lameness_vet_treatment_count	integer	
Curative_clinical_genni_farmer_treatment_count	integer	
Curative_clinical_genni_vet_treatment_count	integer	
Unscheduled_cow_vet_care_count	integer	Nombre de soins à la vache non planifiés réalisés par le vétérinaire
Scheduled_cow_farmer_care_count	integer	Nombre de soins à la vache planifiés réalisés par l'éleveur
Unscheduled_cow_farmer_care_count	integer	Nombre de soins à la vache non planifiés réalisés par l'éleveur
Scheduled_vet_activity_count	integer	Nombre d'interventions vétérinaires planifiées (visites prévues au contrat soins et présence aux parages préventifs)
Unscheduled_vet_activity_count	integer	Nombre d'interventions vétérinaires non planifiées (visites non prévues au contrat soins et présence aux parages curatifs)

Scheduled_farmer_activity_count	integer	Nombre d'interventions éleveur planifiées
Unscheduled_farmer_activity_count	integer	Nombre d'interventions éleveur non planifiées
Mastitis_culling_by_cow	real	Nombre de vaches réformées pour cause de mammites / Nombre moyen de vaches présentes (pourcentage)
Non_infectious_lameness_culling_by_cow	real	Nombre de vaches réformées pour cause de boiterie non infectieuse / Nombre moyen de vaches présentes (pourcentage)
PTB_culling_by_cow	real	Nombre de vaches réformées pour cause de paratuberculose / Nombre moyen de vaches présentes (pourcentage)
Infectious_lameness_culling_by_cow	real	Nombre de vaches réformées pour cause de boiterie infectieuse / Nombre moyen de vaches présentes (pourcentage)
Healthy_cows	real	Nombre de vaches sans troubles de santé présentes au moins 8 mois au cours de l'année / Nombre de vaches présentes au moins 8 mois au cours de l'année
Clinical_case_cows	real	Nombre de vaches ayant subi au moins un cas clinique de pathologie et présentes au moins 8 mois au cours de l'année / Nombre de vaches présentes au moins 8 mois au cours de l'année

Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé

2.2.4 Génétique

Le simulateur permet de tenir compte de valeurs propres à chaque individu qui concernent ses différentes performances (production, reproduction et santé).

2.2.4.1 Valeurs constantes biologiques et techniques relatives à la génétique

Tous les animaux se voient dotés d'un patrimoine génétique dès leur création. Ce patrimoine regroupe la valeur génétique de chacun de leurs traits phénotypiques. Trois cas sont à différencier pour l'affectation des valeurs génétiques individuelles :

- animaux achetés pendant la simulation,
- taureaux dont la semence est utilisée pour les inséminations (ou saillies),
- veaux nés d'une mère et d'un père identifiés.

L'effet du milieu n'est pas traité dans le présent chapitre, il est développé dans chacun des modules concernés.

2.2.4.1.1 Valeurs génétiques associées à un trait phénotypique

La valeur génétique de chaque trait phénotypique est constituée des valeurs suivantes :

- La valeur génétique vraie *A*,
- La performance corrigée *P*.

Ces valeurs génétiques sont calculées dans le simulateur par l'application de trois critères communs des races laitières (héritabilité, hétérosis et corrélation génétique), et de deux autres dépendants de la race (moyenne phénotypique de référence et écart-type génétique).

2.2.4.1.1.1 Critères communs des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques

Nom du trait phénotypique	Définition	Type de Performance	Unité	Héritabilité (h^2) [1]	Hétérosis (H) [2]
Lait	Quantité de lait	Production [3]	kg	0.30	510
TB	Taux butyreux		g/kg	0.50	0.15
TP	Taux protéique		g/kg	0.50	0
Fer	Fertilité	Fonctionnelle [3]	Ecart type	0.02	0.07
MACL	Résistance aux mammites		Ecart type	0.02	0
BHBlait	Taux de BHB dans le lait	Fonctionnelle	Ecart type	0.15 [4]	0 [7]
RBi	Résistance aux boiteries infectieuses		Ecart type	0.04 [5]	0 [7]
RBni	Résistance aux boiteries non infectieuses		Ecart type	0.03 [5]	0 [7]
RPTB	Résistance à la paratuberculose		Ecart type	0.14 [6]	0 [7]

Tableau 111 : Paramètres communs des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques

[1] (Dezetter, 2015) base Prim'holstein, [2] ECOMAST, [3] France génétique Elevage – index des races bovines laitières – 2018, [4] (Benedet *et al.*, 2019), [5] Adapté d'après (Pérez-Cabal et Charfeddine, 2015) et (Croué *et al.*, 2017), [6] (Sanchez *et al.*, 2022), [7] Données non disponibles

En ce qui concerne la corrélation génétique ρ pouvant exister entre les valeurs génétiques vraies de chaque trait phénotypique, elle est la suivante :

ρ	Lait	TB	TP	Fer	MACL	BHBlait	RBi	RBni
TB	-0.45 [1]							
TP	-0.4 [2]	0.6 [2]						
Fer	-0.23 [2]	0.1 [2]	0.1 [2]					
MACL	0.26 [2]	-0.1 [2]	-0.1 [2]	-0.24 [2]				
BHBlait	0.03 [3]	0.035 [4]	-0.29 [4]	0.0 [12]	0.23 [5]			
RBi	0.26 [6]	-0.07 [7]	-0.02 [7]	0.23 [8]	0.37 [9]	0.09 [5]		
RBni	0.26 [6]	-0.07 [7]	-0.02 [7]	0.23 [8]	0.37 [9]	0.09 [5]	-0.01 [10]	
RPTB	0.00 [11]	0.012 [11]	0.03 [11]	0.02 [11]	0.034 [11]	0.0 [12]	0.0 [12]	0.0 [12]

Tableau 112 : Corrélation génétique ρ entre chaque trait phénotypique

[1] (Beaudeau *et al.*, 2016), [2] (ECOMAST), [3] adapté de (Benedet *et al.*, 2019), [4] (Belay *et al.*, 2017), [5] (Oliveira Junior *et al.*, 2021), [6] adapté d'après (Koeck *et al.*, 2014), (Khansefid, Haile-Mariam et Pryce, 2021) et (Van Dorp *et al.*, 1998), [7] (Gernand *et al.*, 2012), [8]

(Khansefid, Haile-Mariam et Pryce, 2021), [9] adapté d'après (Pritchard *et al.*, 2013), (Koeck *et al.*, 2012) et (Oliveira Junior *et al.*, 2021), [10] Données Idele 2021, [11] Avis d'experts, [12] Données non disponibles.

Remarque : les corrélations génétiques entre la résistance aux boiteries et à la fertilité, le TB et le TP, sont chacune issues d'une seule publication donc leur fiabilité est limitée.

2.2.4.1.1.2 Critères des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques dépendant des races

Les valeurs spécifiques de moyenne phénotypique de référence et d'écart type génétique des races laitières sont les suivantes :

Nom du trait phénotypique	**Moyenne phénotypique de référence**			**Ecart-type génétique** ($\sigma_{A=\sqrt{0.7*variance}}$ [2])	
	Montbéliarde	Normande	Prim'Holstein	Montbéliarde et Normande	Prim'Holstein
Lait	7 786 kg [1]	7 126 kg [1]	9 657 kg [1]	553	599
TB	38.7 g/kg [1]	41.8 g/kg [1]	40.5 g/kg [1]	2.03	2.48
TP	33.1 g/kg [1]	34.4 g/kg [1]	32.2 g/kg [1]	1.16	1.24
Fer	1 [2]			0.059	0.059
MACL	1 [2]			0.037	0.034
BHBlait	1			0.048 [3]	0.046 [3]
RBi	1			0.1 [5]	0.1 [4]
RBni	1			0.06 [5]	0.06 [4]
RPTB	1			0.6474 [5]	0.6474 [3]

Tableau 113 : Paramètres race dépendants des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques

[1] (Institut de l'élevage, 2024b) concernant les résultats moyens de « lactations corrigées niveau adulte – toutes lactations » et base de simulation pour deux traites quotidiennes, [2] (ECOMAST), [3] Avis d'expert, [4] Adapté d'après (Pérez-Cabal et Charfeddine, 2015) et (Croué *et al.*, 2017), [5] Données non disponibles.

2.2.4.1.2 Valeur génétique individuelle

La valeur génétique d'un individu dépend de la valeur génétique vraie moyenne du troupeau $\bar{A}_{troupeau}$ dont les niveaux sont définis dans le *Tableau 113 : Paramètres race dépendants des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques*.

2.2.4.1.2.1 Valeur génétique vraie

Pour chaque individu *i*, la valeur génétique vraie *A* de chacun de ses traits phénotypiques est calculée selon la formule suivante :

$$A_{i,trait} = N(\bar{A}_{troupeau,trait}, \sigma_{A,trait})$$

La variabilité est appliquée en tenant compte de la corrélation entre caractères définie dans le *Tableau 112 : Corrélation génétique ρ entre chaque trait phénotypique*.

2.2.4.1.2.2 Potentiel individuel à l'état adulte

Le potentiel individuel est calculé de manière différente si l'unité liée à l'index est une performance (index quantitatif) ou un écart type (index qualitatif).

Potentiel individuel basé sur une performance :

Si le trait phénotypique est une performance (lait, TB et TP), le potentiel *P* de l'individu *i* est calculé à partir de la valeur génétique vraie de la manière suivante :

$$P_{i,trait} = \bar{P}_{troupeau,trait} + \frac{A_{i,trait} - \bar{A}_{troupeau,trait}}{h^2_{trait}}$$

Il a l'unité de mesure de la performance (kg ou g/kg).

Potentiel individuel basé sur un écart type :

Si le trait phénotypique est un écart type (Fer, MACL, BHBlait et RB), le potentiel *P* de l'individu *i* sera centré sur 1 et calculé à partir de la valeur génétique vraie (centrée sur 0), avec une performance X

correspondant à une valeur de l'écart type génétique définie à 3 pour le sens croissant et à -3 pour le sens décroissant, selon les équations suivantes :

Sens (*)	Equation pour une valeur génétique vraie < 0	Equation pour une valeur génétique vraie >= 0
Croissant	$P_{i,trait} = \frac{1}{\frac{(X-1)*A_{i,trait}}{-3}+1}$	$P_{i,trait} = \frac{(X-1)*A_{i,trait}}{3} + 1$
Décroissant	$P_{i,trait} = \frac{(X-1)*A_{i,trait}}{-3} + 1$	$P_{i,trait} = \frac{1}{\frac{(X-1)*A_{i,trait}}{3}+1}$

Tableau 114 : Equations de calcul des potentiels individuels P_i pour les index exprimés sous forme d'écart génétique, X étant la performance pour une valeur de l'écart type génétique définie à 3 pour le sens croissant et à -3 pour le sens décroissant

(*) Le sens est croissant si P_i augmente quand la valeur génétique vraie augmente, décroissant dans le cas contraire.

Plus un caractère est héritable, plus la value de X est élevée, ainsi l'héritabilité est intrinsèquement prise en compte.

Pour les index Fer, BHBlait, MACL, RBi et RBni, les performances individuelles sont déterminées conformément à la table de valeurs suivante :

Trait Phénotypique	Performance corrigée utilisée en simulation	Valeur X de la performance (*)	Sens vis-à-vis de la valeur génétique	Bornes des performances individuelles
Fer	Coefficient appliqué à la probabilité d'insémination fécondante	2	Croissant	1/X pour écart type -3 X pour écart type +3
BHBlait	Coefficient appliqué à la probabilité d'occurrence de cétose	1.5		
MACL	Coefficient appliqué à la probabilité d'occurrence de mammite	5	Décroissant	X pour écart type -3 1/X pour écart type +3
RBi	Coefficient appliqué à la probabilité d'occurrence de boiterie infectieuse	1.6		
RBni	Coefficient appliqué à la probabilité d'occurrence de boiterie non infectieuse	1.6		

Tableau 115 : Valeurs des performances individuelles pour les index Fer, BHBlait, MACL, RBi et RBni exprimés sous la forme d'un écart type

(*) Données non disponibles, estimées à dire d'expert

Ainsi, pour les index Fer, MACL, BHBlait et RB (i et ni) représentés sous forme d'écart type, le coefficient utilisé en simulation pour accentuer ou réduire l'effet aura les valeurs suivantes :

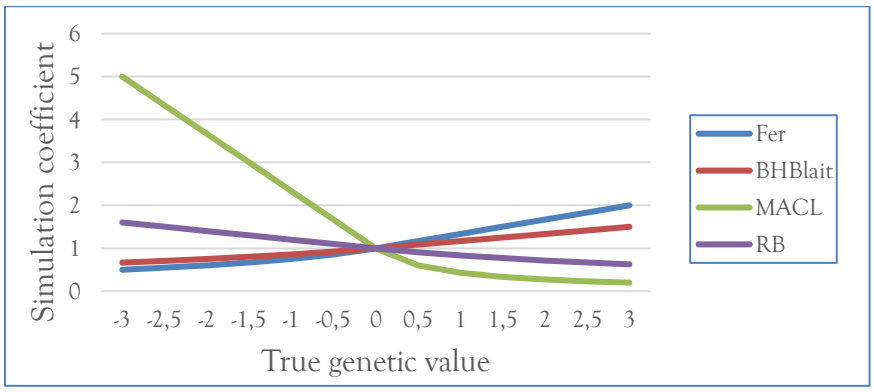


Figure 29 : Coefficient à appliquer à la performance des index Fer, BHBlait, MACL, RBi et RBni pour tenir compte de la valeur génétique vraie

En ce qui concerne spécifiquement l'index RPTB, l'équation suivante est mise en œuvre (Sanchez *et al.*, 2022) :

$$P_{i,trait} = \exp(-1.0313 * (A_{i,trait} + 0.1901))$$

2.2.4.1.3 Valeur génétique des taureaux destinés aux inséminations (ou saillies)

Les taureaux ne sont pas simulés en tant qu'individus, ils sont résumés à des valeurs génétiques « Taureau » regroupées dans un catalogue. Dans le cas des races laitières, ces valeurs bénéficient d'un progrès génétique annuel.

2.2.4.1.3.1 Catalogue des valeurs génétiques « taureaux »

Le catalogue des valeurs génétiques de taureaux laitiers (avant progrès génétique) est dimensionné en fonction des données chargées (*cf.* § *2.2.4.2.1 Caractéristiques des taureaux laitiers en vue de la constitution du catalogue pour les inséminations et saillies*).

Pour ce qui est des taureaux de race allaitante utilisés pour la naissance de veaux destinés à la vente, et afin de garantir la cohérence biologique de la simulation, leur valeur génétique vraie est à 0 et leurs valeurs de niveaux adultes sont génériquement définies ainsi :

- Lait : 2000 kg,
- TB : 50 g/kg,
- TP : 50 g/kg,
- Fer : 1 (coefficient centré),
- MACL : 1 (coefficient centré),
- BHBlait : 1 (coefficient centré),
- RBi : 1 (coefficient centré).
- RBni : 1 (coefficient centré).
- RPTB : 1 (coefficient centré).

Aucune variabilité n'est appliquée dans ce cas.

2.2.4.1.3.2 Progrès génétique annuel

Un progrès génétique annuel de la population bovine laitière est simulé. Il consiste à augmenter les performances des nouveaux individus (naissances ou achats) dans les proportions suivantes :

Trait phénotypique	Montbéliarde	Normande	Prim'Holstein
LAIT (kg) [(1)]	52	62	80
TB (g/kg) [(1)]	0.03	0.00	0.00
TP (g/kg) [(1)]	0.08	0.09	0.04
Fer [(1)]	0.05	0.02	0.05
MACL [(1)]	0.04	0.02	0.04
BHBlait [(2)]	0.00	0.00	0.00
RBi [(2)]	0.00	0.00	0.00
RBni [(2)]	0.00	0.00	0.00
RPTB [(2)]	0.00	0.00	0.00

Tableau 116 : Progrès génétique annuel de la population en fonction des races laitières pour chaque trait phénotypique

[(1)] (Dezetter, 2015), [(2)] Données non disponibles.

Le progrès génétique est appliqué chaque année d'une manière générale sur l'état de la race (modification annuelle des moyennes phénotypiques de référence du *Tableau 113 : Paramètres race dépendants des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques* dans les proportions du progrès génétique défini au *Tableau 116 : Progrès génétique annuel de la population en fonction des races laitières pour chaque trait phénotypique* ci-dessus, et dans les mêmes proportions pour les valeurs génétiques « Taureaux » du catalogue.

Aucun progrès n'est simulé en ce qui concerne les inséminations par des taureaux de races allaitantes.

2.2.4.1.4 Valeur génétique des veaux nés d'une mère et d'un père identifiés

Le principe de calcul mis en œuvre dans le simulateur pour déterminer la valeur génétique vraie pour chaque trait phénotypique d'un veau né d'une mère et d'un père identifiés fait intervenir de manière additive l'hérédité, un aléa de méiose et un effet d'hétérosis (Dezetter, 2015) :

$$VG_{veau,trait} = \overline{VG}_{parents,trait} + aléa\ de\ méiose_{trait} + hétérosis_{trait}$$

2.2.4.1.4.1 Hérédité

Pour chaque trait phénotypique, en espérance, le veau hérite pour moitié de la valeur génétique vraie de la mère et pour moitié de celle du père (Dezetter, 2015) :

$$\overline{VG}_{parents,trait} = \frac{VG_{mère,trait} + VG_{père,trait}}{2}$$

2.2.4.1.4.2 Aléa de méiose

L'aléa de méiose $\emptyset$ vient s'ajouter à la valeur génétique du veau calculée précédemment à partir de ses ascendants. Corrélé conformément au Tableau *112 : Corrélation génétique ρ entre chaque trait phénotypique*, il est calculé de la manière suivante (Dezetter, 2015) :

$$\emptyset_{trait} = N(0, \frac{\sigma_{A,trait}}{\sqrt{2}})$$

L'écart type σ_A est décrit dans le Tableau *113 : Paramètres race dépendants des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques*.

2.2.4.1.4.3 Hétérosis

L'effet d'hétérosis est calculé ainsi :

$$hétérosis_{trait} = h \times H_{trait}$$

Avec h = 1 - part de la race du père chez la mère (Dezetter, 2015), en sachant que le veau sera constitué à 50% de la (des) race(s) de la mère et 50% de la race du père.

L'effet d'hétérosis H est défini dans le Tableau *111 : Paramètres communs des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques.*

La valeur de la performance corrigée *P* du veau est alors calculée de la même manière que pour un adulte généré, décrite au paragraphe *2.2.4.1.2 Valeur génétique individuelle*.

2.2.4.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la génétique

Ce paragraphe permet de décrire les paramètres à prendre en compte pour l'application d'effets génétiques. Cela concerne le catalogue des caractéristiques génétiques des taureaux qui vont être utilisées pour les inséminations et saillies, et le niveau de performance du troupeau.

2.2.4.2.1 Caractéristiques des taureaux laitiers en vue de la constitution du catalogue pour les inséminations et saillies

Il est possible de constituer un catalogue spécifique des caractéristiques génétiques des taureaux à partir des valeurs par défaut suivantes :

Stratégie génétique (choix du taureau)	Race *(Nom taureau)*	LGF	Trait phénotypique								
			Lait (kg)	TB (g/kg)	TP (g/kg)	Fer (écart type)	MACL (écart type)	BHBlait (écart type)	RBi (écart type)	RBni (écart type)	RPTB (écart type)
Equilibrée (meilleur index INEL)	Montbéliarde *(Trekking)*	0.7	1249	2.0	2.7	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Normande *(Theix)*	0.8	1707	-1.8	1.6	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Prim'Holstein *(Topgun)*	2.0	1359	2.1	3.2	1.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Priorité à la quantité de lait (meilleur index Lait)	Montbéliarde *(Sacha)*	1.6	1555	-0.9	-0.2	1.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	Normande *(Theix)*	0.8	1707	-1.8	1.6	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Prim'Holstein *(Tjorpe RF)*	1.0	1514	1.1	0.5	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Priorité à la longévité fonctionnelle	Montbéliarde *(Strass)*	3.1	1169	-2.8	-0.7	0.4	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0

(meilleur index LGF)	Normande *(Talent)*	2.8	597	1.3	1.2	2.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	Prim'Holstein *(Suribay P)*	3.1	746	4.0	3.0	3.1	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Priorité à la résistance à la paratuberculose (meilleur index RPTB)	Montbéliarde [1]	2.9	1101	2.2	1.4	2.8	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0
	Normande [1]	2.9	1101	2.2	1.4	2.8	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0
	Prim'Holstein [2]	2.9	1101	2.2	1.4	2.8	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0

Tableau 117 : Valeurs par défaut des index génétiques des taureaux

[1] Données non disponibles, [2] Avis d'experts

Les valeurs des trois premières stratégies (meilleur index INEL, meilleur index Lait et meilleur index LGF) sont celles de taureaux existants (sauf pour les index BHBlait, RB et RPTB), issus du bilan génétique de l'insémination en races bovines laitières (Institut de l'élevage, 2024a).

2.2.4.2.2 Stratégie génétique

Le simulateur permet de choisir la stratégie génétique pour la reproduction dans le troupeau. Elles sont de 4 ordres : à l'équilibre (index INEL), priorité à la quantité de lait produit (index Lait), priorité à la longévité fonctionnelle (index LGF) et résistance à la paraturberculose (index RPTB). En fonction de la stratégie choisie par l'expérimentateur, le taureau reproducteur utilisé pour les inséminations et/ou saillies sera tiré au sort parmi ceux de la race prévue présents dans le catalogue et respectant ce critère. Par défaut, la stratégie équilibrée est sélectionnée.

En ce qui concerne la réforme en vue de la régulation des effectifs (voir § *2.2.5.1.1.2.2.2 Réforme en vue de la régulation de l'effectif*), la note attribuée à chacun des individus dépend de la stratégie génétique en vigueur, elle correspondra à l'index afférent.

En vue de mieux observer ses effets, la stratégie génétique PTB ne se met en œuvre qu'à partir de 5 ans de simulation. En attendant cette date, c'est la stratégie à l'équilibre qui est appliquée. A partir du moment où la stratégie génétique PTB est active, un génotypage est systématiquement réalisé sur les femelles à leur naissance (pas sur les génisses éventuellement achetées partant du principe que cela aura été fait avant). Ce génotypage est généralement réalisé par l'éleveur lui-même de manière transparente (à l'occasion de la pose de l'étiquette d'oreille) sans la présence d'un vétérinaire. Il n'est donc pas nécessaire de comptabiliser une action spécifique pour l'éleveur dans ce cas, ni pour le vétérinaire.

2.2.4.3 Données produites

Ces données sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée représente le bilan génétique annuel technique.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Mean_index_lgf Mean_index_lait Mean_index_tb Mean_index_tp Mean_index_fer Mean_index_macl Mean_index_bhb Mean_index_rbi Mean_index_rnbi Mean_index_rptb	real	Moyenne des valeurs de l'index correspondant de tous les animaux présents en fin d'exercice.

Tableau 118 : Structure des données relatives aux résultats génétiques

2.2.5 Gestion de la population et des lots

La gestion de la population du troupeau, comprenant notamment le renouvellement et la réforme, ainsi que la répartition des animaux en lots sont proposées à l'utilisateur du simulateur.

2.2.5.1 Valeurs constantes biologiques et techniques

Le chapitre « Gestion de la population et des lots » permet de définir le mode de gestion de la population (effectif, réforme, renouvellement, mortalité), ainsi que la répartition par lots.

2.2.5.1.1 Population du troupeau

Au long de la simulation, le format du troupeau est régulé par le jeu des ventes et des achats.

2.2.5.1.1.1 Montée en puissance

Avant que la simulation ne démarre aux dates paramétrées, une pré-simulation est réalisée partant d'une situation où le troupeau ne comprend pas encore de vaches, consacrée à la montée en puissance des effectifs par l'achat échelonné de génisses amouillantes. Si l'option de regroupement des vêlages est mise en œuvre (cf. § *2.2.1.2.5 Vêlages groupés*), les génisses amouillantes sont achetées de manière à ne vêler qu'au cours des périodes prévues. Aucun résultat n'est produit pendant cette période.

2.2.5.1.1.2 Régulation de l'effectif

Pour un troupeau composé d'un effectif nominal, le renouvellement s'appliquera dans les conditions définies par l'utilisateur. Le but étant qu'à la fin d'une campagne, le troupeau ait été renouvelé à hauteur de ce qui a été prévu (*cf.* § *2.2.5.2.1.3 Taux de renouvellement annuel du troupeau*). Chaque jour, les vaches prévues pour être réformées (en fonction de leur stade de lactation) sont sortie du troupeau et vendues en tant que vache réformée. Le remplacement par des génisses amouillantes des vaches réformées ou sorties du fait d'une mortalité ou de problèmes de santé ou de fertilité est organisé le 15 du mois. En fonction de la stratégie de gestion des vaches femelles (cf. § *2.2.5.2.1.4 Stratégie de gestion des veaux femelles*), ce remplacement est réalisé soit par l'achat du nombre de génisses amouillantes nécessaires (cf. §*2.2.5.1.1.2.3 Achat de génisses*), soit par l'arrivée des génisses amouillantes venant du pré-troupeau éventuellement complétée d'achats si aucune arrivée n'est prévue dans les quatre mois à venir. Elles sont alors intégrées dans le lot des « génisses amouillantes et vaches taries ». Les génisses amouillantes surnuméraires du pré-troupeau sont vendues.

Le génotypage n'est pas mis en œuvre lorsqu'il s'agit d'estimer les performances attendues en vue de déterminer les meilleures candidates à la conservation dans le troupeau (veaux femelles et génisses amouillantes), seule la connaissance de l'éleveur est prise en compte par le simulateur.

2.2.5.1.1.2.1 Vente des veaux femelles

Plusieurs stratégies sont prévues en ce qui concerne la vente des veaux femelles, elles sont décrites au paragraphe *2.2.5.2.1.4 Stratégie de gestion des veaux femelles*.

2.2.5.1.1.2.2 Vente des génisses et réforme des vaches adultes

Hormis dans le cas où un problème de santé exige une réforme immédiate (cas sévères, tests positifs à la paratuberculose, ...), la réforme des vaches se réalise généralement en deux temps : la décision de ne plus inséminer puis la réforme proprement dite en fin de lactation. Par ailleurs, si ce principe n'est pas suffisant pour la régulation de l'effectif, ou en fonction de la stratégie de renouvellement adoptée, la vente de génisses amouillantes pourra être réalisée.

2.2.5.1.1.2.2.1 Décision de ne plus inséminer

Les vaches ou génisses dont la décision de réforme a été prise (cas cliniques de maladies, résultat positif à un test de paratuberculose, ...) ne sont jamais inséminées. D'autres raisons peuvent amener l'éleveur à décider de ne plus inséminer ses animaux, ces raisons sont :

- les problèmes de fertilité, c'est à dire ceux décrits dans le paragraphe *2.2.1.2.8 Décision individuelle d'abandon des inséminations liée à l'infertilité des génisses et des vaches*. Cela concerne également les femelles

ayant perdu leur embryon ou ayant avorté (sans lactation) une fois les délais de fin d'insémination passés,
- lorsque le nombre maximal de lactations est atteint, ce paramètre est défini au paragraphe *2.2.5.2.1.5 Lactation maximale*,
- une production observée en début de lactation (du jour du vêlage à celui de la décision d'insémination) inférieure à la moyenne du troupeau calculée sur la base des douze derniers mois observés de production. Cela ne concerne pas les vaches croisées lait. Le paramétrage du ratio applicable est décrit au paragraphe *2.2.5.2.1.6 Performance de production de la vache par rapport à celle du troupeau*,
- une résistance faible à la paratuberculose,
- lorsque la vache ne guérit pas de sa dernière mammite, déterminé par un seuil de CCS dépassé lors des deux derniers contrôles laitiers de la lactation précédente et au premier contrôle de la nouvelle lactation (paramétrable au paragraphe *2.2.5.2.1.7 Seuil de CCS*),
- en cas de boiterie longue (cf. § *2.2.3.3.1.1.3.5 Réforme et mortalité liées à une boiterie*),
- en cas de vêlage groupé, lorsque la vache ou la génisse n'a pas été fécondée dans la période prévue.

2.2.5.1.1.2.2.2 Réforme en vue de la régulation de l'effectif

Décision :

Certaines vaches sont réformées sur le champ ou de manière différée. C'est le cas de celles souffrant d'un problème de santé d'une gravité telle que la guérison n'est pas envisagée, ou lorsque les tests de paratuberculoses sont positifs (voir § 2.2.3.5.1.1.2.5 Mortalité et risque de réforme).

Les autres réformes sont réalisées en vue de la régulation de l'effectif. Dans ce cadre, la décision de ne pas inséminer une vache en vue de la réformer est prise en fonction de sa valeur génétique vis-à-vis des autres au regard de la stratégie génétique de l'éleveur (voir § *2.2.4.2.2 Stratégie génétique*) ou pour cause d'infertilité.

Réforme :

La réforme d'une vache prévue pour l'être est concrètement réalisée à la fin de sa lactation, prioritairement selon un score individuel déterminé par l'équation suivante :

$$Score = \frac{\overline{CCS}_{7\ derniers\ jours}}{\overline{Quantité\ de\ lait}_{7\ derniers\ jours}}$$

En tout état de cause, le principe permettant de considérer qu'une vache à réformer a terminé sa lactation (après un palier de 250 jours de lactation) se base sur le seuil de la quantité de lait produit (lissée sur les 7 derniers jours), pondéré d'un ratio permettant, en fonction de l'objectif du troupeau, de définir le seuil de rentabilité. Ainsi, le seuil calculé pour deux niveaux de production est le suivant :

Niveau de production du troupeau (kg/vache)	Seuil de rentabilité (kg)
6000	10
9500	16

Tableau 119 : Seuil de rentabilité de la production en fonction du niveau du troupeau

Ce seuil peut être modulé par un facteur paramétrable (cf. *2.2.5.2.1.8 Seuil de rentabilité de la production laitière*).

2.2.5.1.1.2.2.3 Vente de génisses amouillantes

En cas de surnombre de génisses par rapport au taux de renouvellement souhaité (constatée sur une période de quatre mois), l'effectif est régulé par la vente de génisses amouillantes, choisies en fonction de leur note individuelle dépendant de la stratégie génétique en cours (voir § *2.2.4.2.2 Stratégie génétique*).

2.2.5.1.1.2.3 Achat de génisses

Lorsque l'effectif du troupeau est insuffisant, le simulateur réalise l'achat des génisses amouillantes, inséminées selon les conditions de première insémination prévues dans le plan d'accouplement, et pour une date estimée de vêlage deux semaines plus tard. La valeur génétique de ces génisses achetées tient compte du progrès réalisé au stade considéré de simulation depuis son début. Les génisses achetées n'ont pas subi de pathologies liées aux GENNI au début de leur vie.

Une fois le troupeau constitué (période de pré-simulation), cette option d'achat de génisse n'est plus mise en œuvre lorsque la stratégie de gestion des veaux femelles consiste à conserver tous les conserver pour les vendre en tant que génisses amouillantes.

2.2.5.1.1.3 Mortalité

Les veaux et vaches sont exposés chaque jour à un risque naturel de mortalité. Ce risque est déterminé sur la base de la moyenne observée dans les troupeaux laitiers, et ainsi que de celle des troupeaux allaitant pour les veaux croisés (Perrin *et al.*, 2011), de la manière suivante :

Catégorie d'âge	Risque moyen annuel (%)	
	laitier	allaitant
< 7 jours (*)	F : 6.0 M : 7.9	4.36
7 jours à 1 mois	2.96	1.63
1 à 2 mois	1.26	0.88
2 à 6 mois	2.31	1.69
6 mois à 1 an	1.52	1.35
1 à 2 ans	1.53	1.56
2 à 3,5 ans	2.6	1.5
3,5 à 5 ans	3.01	1.67
5 à 10 ans	4.42	1.84
> 10 ans	7.54	4.28

Tableau 120 : Risque de mortalité des individus

(*) selon l'observatoire « Reproscope » de l'Institut De l'ELEvage (IDELE), sur 65381 troupeaux laitiers français observés pour l'exercice 2013-2014, le risque de mortinatalité (entre la naissance et deux jours) est du même ordre que celui de la première semaine de vie, il n'est donc pas traité de manière spécifique.

Ces données représentent la mortalité de base, elle intègre les létalités dues aux divers troubles de santé simulés.

Pour ce qui est des veaux croisés laitier-allaitant, le risque de mortalité est la moyenne des risques de mortalité des deux races.

L'option de contrat de soins vétérinaires permet d'obtenir de fait une amélioration de la mortalité due aux maladies gérées. En ce qui concerne les maladies non gérées, le simulateur applique au bout d'un an de contrat une réduction de 10% de la mortalité.

2.2.5.1.2 Gestion de lots

Tous les animaux sont affectés à un lot qui, suivant la localisation courante (stabulation, pâturage, mixte), constitue l'environnement de l'animal.

2.2.5.1.2.1 Affectation

La dynamique d'affectation dans les lots se déroule de la manière suivante :

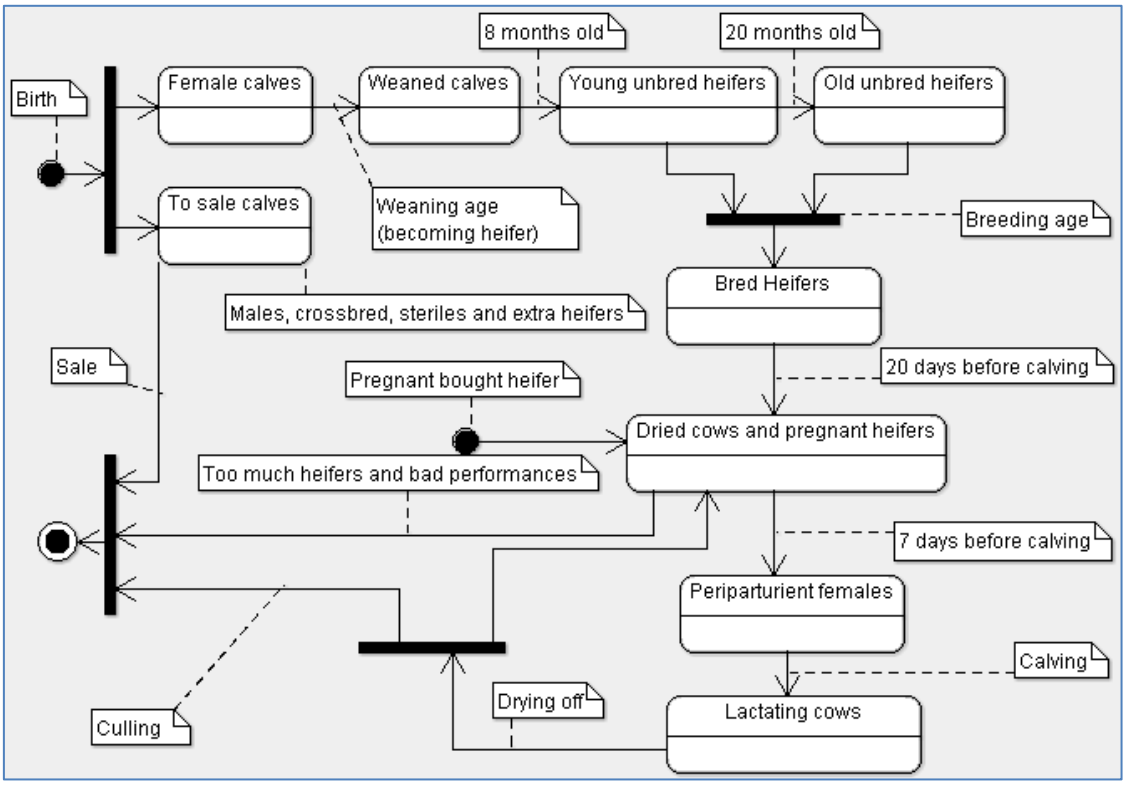


Figure 30 : Dynamique d'affectation dans les lots des animaux de l'exploitation

Dès leur naissance, les veaux mâles, les veaux croisés viande et les femelles stériles sont mis dans un lot qui fera l'objet d'une vente hebdomadaire, lorsqu'ils auront atteint l'âge minimum de 20 jours, tout comme les veaux femelles en surnombre. Les femelles destinées à être élevées sont affectées dans le lot des veaux femelles. Une fois sevrées, elles rejoignent le lot des veaux sevrés, puis à l'âge de 8 mois le lot des jeunes génisses pas encore mises à la reproduction. Si l'âge de mise à la reproduction dépasse 20 mois, elles sont regroupées une fois atteint cet âge dans le lot des génisses plus âgées, jusqu'à ce qu'elles atteignent l'âge de mise à la reproduction qui les conduit dans le lot des génisses inséminées. A 20 jours de la date de vêlage, si elles peuvent contribuer à un surnombre de vaches renouvelées au regard du taux paramétré, leur performance théorique de production est évaluée en se basant sur celles de leur mère. En cas de performance moindre que celles des autres génisses du lot des génisses amouillantes et vaches taries, elles seront vendues. Dans le cas contraire, elles seront intégrées au lot en remplacement d'autres aux performances estimées moindres et qui seront vendues. Par ailleurs, à ce stade et en cas de sous-effectif, le nombre nécessaire de génisses amouillantes sera acheté et intégré dans ce même lot. A 7 jours du vêlage, les génisses et vaches taries sont intégrées dans le lot des femelles péri-partum jusqu'au vêlage qui les conduira dans le lot des vaches en lactation.

Ainsi, les différents lots gérés au sein de l'exploitation sont les suivants :

- veaux destinés à la vente (mâles, croisés viande, stériles et femelles surnuméraires),
- veaux femelles (non sevrés),
- veaux femelles sevrés (de moins de 8 mois),
- jeunes génisses de moins de 20 mois,
- génisses de plus de 20 mois (si l'âge de mise à la reproduction est supérieur),
- génisses à la reproduction,
- génisses amouillantes à un mois du vêlage et vaches taries,
- génisses amouillantes et vaches péri-partum,
- vaches en lactation.

2.2.5.1.2.2 Stabulation/pâturage

Les 3 lots de veaux ne sont jamais mis au pâturage. En revanche, ceux des génisses et des vaches peuvent l'être selon le calendrier paramétré (*cf.* § *2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage*) ce qui définira entre autres les régimes alimentaires (*cf.* § *2.2.6.2.1 Rations d'équilibre*) et pourra exercer une influence sur les risques sanitaires.

2.2.5.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à la population et aux lots

Ce module permet de valoriser les critères de conduite qui concernent la gestion de population et le calendrier des mises au pâturage.

2.2.5.2.1 Population

Différents paramètres permettent de mettre en place différentes stratégies au niveau de la gestion de la population.

2.2.5.2.1.1 Race initiale des vaches

La race initiale des vaches est paramétrable, la valeur par défaut est Prim'Holstein.

2.2.5.2.1.2 Nombre moyen de vaches adultes

Le nombre moyen de vaches adultes est paramétrable. Sa valeur par défaut est de 70.

2.2.5.2.1.3 Taux de renouvellement annuel du troupeau

Il est possible pour l'utilisateur de définir le taux annuel de renouvellement du troupeau. Ce paramètre est exprimé par une valeur décimale comprise entre 0.25 (renouvellement d'un quart par an) et 0.5 (renouvellement de la moitié par an). La valeur par défaut est de 0.33 (renouvellement d'un tiers par an).
Par ailleurs, un paramètre permet de faire progresser annuellement le taux de renouvellement initialement paramétré. Il s'agira de définir le différentiel à ajouter tous les ans au taux courant, à partir de l'exercice qui suit la première année de production des résultats. Sa valeur par défaut est à 0.

2.2.5.2.1.4 Stratégie de gestion des veaux femelles

Trois stratégies de gestion des veaux femelles non sevrées sont proposées à l'utilisateur.

a) Conservation de tous les veaux

Le surnombre sera vendu en tant que génisses amouillantes le moment venu, dans les mêmes conditions de sélection que pour l'option suivante.

b) Vente obligatoire des veaux sélectionnés

C'est option retenue par défaut.

La priorité sera donnée aux veaux nés des vaches au potentiel laitier est faible, à savoir : les femelles nées des 10% de vaches au potentiel quantitatif laitier constaté le plus faible[1] du troupeau seront obligatoirement vendues. A l'opposé, les veaux femelles nés des vaches constatées comme étant les plus productives (20% supérieures constatées du troupeau) seront obligatoirement exclues de cette vente, même s'ils ont contracté une GENNI. Le veau femelle surnuméraire dont la performance laitière de l'ascendance n'a pas pu être comparée sera systématiquement vendu. Pour le reste des veaux, ils sont classés dans l'ordre de l'estimation de leur performance quantitative (tenant compte de l'effet d'une potentielle GENNI lors de sa première lactation une fois adulte, cf. § *2.2.3.4.1.1.3.2 Diminution de la croissance moyenne*).

[1] Seul le potentiel laitier est actuellement pris en compte. Selon le besoin et dans une version future du simulateur, d'autres index génétiques comme la sensibilité aux maladies pourraient optionnellement être considérés au moment de la sélection.

L'effectif est ajusté au besoin de renouvellement, calculé sur la base d'un nombre de veaux femelles de moins d'un an présents dans le troupeau ne devant pas dépasser celui de la population adulte ciblées multipliée par le taux de renouvellement annuel attendu, plus 5% de marge de sécurité.

c) Vente de tous les veaux

Tous les veaux femelles sont systématiquement vendus et des génisses amouillantes sont achetées en fonction de l'effectif souhaité.

2.2.5.2.1.5 Lactation maximale

Le nombre de lactation maximal, déterminant la fin des inséminations, est paramétrable. La valeur par défaut est de 7.

2.2.5.2.1.6 Performance de production de la vache par rapport à celle du troupeau

Les inséminations sont stoppées pour les vaches produisant moins que la moyenne du troupeau. Le ratio applicable est paramétrable, il est à 0.86 par défaut.

2.2.5.2.1.7 Seuil de CCS

Le seuil des CCS conduisant à l'abandon des inséminations est paramétrable, sa valeur par défaut est de 1000.

2.2.5.2.1.8 Seuil de rentabilité de la production laitière

Un facteur de modulation du seuil de rentabilité de la production laitière en fin de lactation longue est paramétrable. Sa valeur par défaut est de 1.

2.2.5.2.2 Gestion des lots

Les leviers de conduite pour la gestion des lots concernent le calendrier des pâturages et l'usage d'aire paillée.

2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage

Les veaux ne sont jamais au pâturage. Pour les autres animaux, les périodes de pâturage sont paramétrables selon deux modalités : les génisses et vaches taries et les vaches en lactation.

Pour les génisses, les vaches taries et péri-partum, les valeurs par défaut de mise au pâturage sont les suivantes :

Jeunes génisses de moins de 20 mois	**Autres génisses, vaches taries et péri-partum**
15 avril au 10 novembre	15 mars au 10 novembre

Tableau 121 : Calendrier par défaut de mise au pâturage selon pour les lots génisses de moins de 20 mois, autres génisses, vaches taries et péri-partum

Si aucune période de pâturage ne doit être paramétrée, la valeur « 0 » doit être appliquée pour les jours et les mois du paramètre correspondant. Le reste de l'année, les animaux sont en stabulation.

En ce qui concerne les vaches en lactation, les valeurs par défaut de mise au pâturage et en stabulation sont les suivantes :

Pratique	**Vaches en lactation**
100% pâturage	20 mars au 30 juin
100% stabulation	11 novembre au 10 mars

Tableau 122 : Calendrier par défaut du pâturage et de la stabulation pour le lot des vaches en lactation

Si aucune période de pâturage et/ou de stabulation ne doit être paramétrée, la valeur « 0 » doit être appliquée pour les jours et les mois du paramètre correspondant. Le reste de l'année, les vaches en lactation sont au pâturage le jour et en stabulation la nuit.

Remarque : ces deux calendriers sont utilisés pour déterminer les rations alimentaires (*cf.* § *2.2.6.2.1 Rations d'équilibre*).

2.2.5.2.2.2 Aire paillée

Par défaut, les aires sont paillées en stabulation, selon les modalités suivantes :

Veaux	Génisses en stabulation	Vaches adultes en stabulation (*)
2	3.5	7

Tableau 123 : Consommation de paille par défaut pour les aires paillées (kg/j)

(*) cette consommation est diminuée de moitié de lorsque les vaches adultes sont en stabulation durant la nuit et au pâturage la journée.

2.2.5.3 Données produites relatives à la gestion de la population

Les données produites concernent uniquement le bilan technique lié à la gestion de la population. Elles sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Ce résultat permet la comptabilisation des mouvements et de la situation de la population dans le troupeau (naissance, vente, achat, mortalité, réforme, taux de renouvellement) au titre de la campagne.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Present_adult_cow_count	integer	Nombre de vaches adultes présentes dans le troupeau en fin d'exercice
Present_not_adult_animal_count	integer	Nombre d'animaux non adultes présents dans le troupeau en fin d'exercice
Present_over_24_months_animal_count	integer	Nombre d'animaux âgés de 24 mois et plus présents dans le troupeau en fin d'exercice
Herd_cow_average	integer	Nombre moyen de vaches adultes présentes dans le troupeau
Birth_count	integer	Nombre de naissances
Male_sale_count	integer	Nombre de veaux mâles vendus
Beef_crossed_bred_sale_count	integer	Nombre de veaux croisés viande vendus
Sterile_female_sale_count	integer	Nombre de veaux femelles stériles vendus
Extra_female_sale_count	integer	Nombre de veaux femelles en surnombre vendus
Extra_pregnant_heifer_sale_count	integer	Nombre de génisses amouillantes vendues
Heifer_bought_count	integer	Nombre de génisses amouillante achetées
Primipare_count	integer	Nombre de génisses ayant vêlé
Dead_calve_count	integer	Nombre de veaux morts toutes causes (veaux en attente de vente et femelles non sevrées)
Dead_calve_per_100_calves	integer	Nombre de veaux morts (veaux en attente de vente et femelles non sevrées) pour 100 naissances
Dead_heifer_count	integer	Nombre de génisses mortes (prévues pour être conservées dans le troupeau)
Dead_adult_count	integer	Nombre de de vaches adultes mortes (y compris les génisses à 1 mois du vêlage)
Dead_adult_per_100_cows	integer	Nombre de de vaches adultes mortes (y compris les génisses à 1 mois du vêlage) pour 100 vaches
Infertility_not_bred_decision_count	integer	Nombre de décisions de ne pas inséminer pour problème d'infertilité
Lactation_rank_not_bred_decision_count	integer	Nombre de décisions de ne pas inséminer du fait du rang de lactation
Low_milk_product_not_bred_decision_count	integer	Nombre décisions de ne pas inséminer du fait d'un niveau bas de production
Culling_percent	real	Pourcentage de réforme (nombre de vaches réformées / nombre moyen de vaches)
Health_culling_count	integer	Nombre d'animaux réformés pour raison de santé
Infertility_culling_count	integer	Nombre d'animaux réformés pour problème d'infertilité
Lactation_rank_culling_count	integer	Nombre de vaches réformées du fait du rang de lactation
Low_milk_product_culling_count	integer	Nombre de vaches réformées du fait d'un niveau bas de production
PTB_culling_count	integer	Nombre de vaches réformées du fait de leur état clinique PTB
Longevity	real	Pourcentage de contrôles laitiers de vaches de 4 lactations et plus parmi les contrôles laitiers
Mean_herd_life	integer	Moyenne d'âge des animaux à leur sortie du troupeau, qui y sont restés au moins 27 jours depuis leur naissance
Mean_lenght_of_productive_life	integer	Moyenne du nombre de jours entre le premier vêlage et la date de sortie de la vache
Survivability_48m	real	Nombre de vaches nées dans le troupeau et ayant atteint 48 mois dans l'année / nombre de veaux ayant pu atteindre 27 jours 4 ans auparavant
Mean_lifetime_milk_production	real	Moyenne du cumul de la production laitière brute au cours de la carrière des vaches à leur sortie du troupeau
Time_between_decision_and_culling_average	integer	Moyenne du délai entre décision et réforme (*)
Lactation_stage_at_culling_average	integer	Moyenne du stade de lactation au moment de la réforme (*)
Day_milk_quantity_at_culling_average	real	Moyenne de la quantité de lait du jour au moment de la réforme (*)
Max_milk_quantity_at_culling	real	Quantité maximum de lait du jour au moment de la réforme (*)
Min_lactation_stage_at_culling	integer	Stade minimum de lactation au moment de la réforme (*)

Tableau 124 : Structure des données relatives aux résultats annuels de gestion de la population du troupeau

(*) Hors raison de santé.

2.2.6 Alimentation

L'objectif du simulateur n'est pas de comparer des plans d'alimentation des vaches laitières mais d'intégrer l'impact économique de la consommation en aliment qui varie en fonction de l'effectif et du potentiel de production des animaux dans le bilan des stratégies testées. Par conséquent, il est essentiel de déterminer les quantités d'aliments utilisés.

2.2.6.1 Valeurs constantes biologiques et techniques

2.2.6.1.1 Rations

Le premier jour de leur vie, les veaux sont nourris par le colostrum de la mère. Ensuite, ils reçoivent une quantité quotidienne de lait et ce jusqu'au sevrage ou la vente. Le type et la quantité de lait mis en œuvre sont paramétrables (*cf.* § *2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux non sevrés*). Les veaux femelles destinés à être sevrés reçoivent une ration de concentré, dont la constitution est paramétrable.

Pour le reste, les régimes alimentaires mis en œuvre dépendent principalement de deux critères :

- Le lot d'appartenance (*cf.* § *2.2.5.1.2.1 Affectation*),
- La situation locale (*cf.* § *2.2.5.1.2.2 Stabulation/pâturage*) si le lot est concerné,

Dans le cas particulier de la période de production laitière, deux rations peuvent être mises en œuvre :

- la Ration de Base Equilibrée (RBE) qui est systématiquement octroyée, elle est dimensionnée pour une production laitière déterminée par l'éleveur et paramétrable (*cf.* § *2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation*),
- la ration relative et complémentaire de concentré de production, attribuée lorsque la production du jour dépasse le seuil correspondant à la RBE paramétrée (*cf.* § *2.2.6.2.2 Rations de concentré de production*).

A noter qu'une primipare ne consomme que 95% de la ration d'une vache multipare sur toute la durée de sa première lactation.

En ce qui concerne l'alimentation des animaux du lot des vaches taries et génisses amouillantes, les valeurs mises en œuvre, non paramétrables, sont d'1/3 de la RBE données aux vaches lactantes multipares (paramétrable, *cf.* § *2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation*), additionnée d'1kg de matière sèche (kgMS) de foin en cas de stabulation. Enfin pour ce qui est des vaches péri-partum, leur alimentation (non paramétrable) est celle définie précédemment des vaches taries et génisses amouillantes, additionnée de 0.5 kg de matière brute (kgMB) de colza et de 0.5 kgMB d'Orge, le tout diminué de 10% s'il s'agit spécifiquement d'une génisse (Jarrige, 1988).

2.2.6.1.2 Féces produites

En ce qui concerne la quantité de fèces produite par jour et par animal, elle dépend de sa situation (Nennich *et al.*, 2005) :

Situation	Quantité de fèces produite (kg/jours)
Veau	Entre 5 et 28
Génisse	24.5
Vache adulte	35

Tableau 125 : Quantité de fèces produite par jour et par animal en fonction de sa situation

2.2.6.2 Paramètres de conduite d'élevage relatifs à l'alimentation

Différents paramètres permettent à l'utilisateur de définir les règles de conduite liées à l'alimentation. Le principe est de définir, pour une ration donnée, sa quantité en kg et sa composition sous forme de ratio, à savoir de foin, d'herbe, d'ensilage de maïs et d'ensilage d'herbe pour la ration de fourrage et de tourteau de colza et de soja, et d'orge pour la ration de concentré. Le ratio total d'une ration doit être de 1.

Ce paramétrage concerne les rations d'équilibre et les compléments de production.

2.2.6.2.1 Rations d'équilibre

Le paramétrage suivant permet de définir les rations permettant l'équilibre alimentaire et la production nominale telle que définie dans le chapitre *2.2.2.1.1 Quantité et composition basales du lait, durée de base de la lactation, destination du lait*.

L'impact biologique de la consommation des rations décidées n'est pas simulé, son intérêt réside uniquement dans son aspect comptable. Les choix de l'expérimentateur devront donc être en cohérence avec des rations d'équilibre.

2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux non sevrés

Les veaux concernés par ce paragraphe sont les veaux femelles conservées pour l'élevage et les veaux destinés à la vente (mâles, croisés viande, stériles et femelles surnuméraires).

Lait :

Par simplification, la quantité de lait consommée par les veaux est constante chaque jour jusqu'à l'âge du sevrage. Paramétrable, cette quantité est définie par défaut à 6kg/jours. Le simulateur propose également la mise en œuvre de 3 sortes de lait paramétrables selon les quatre options suivantes :

- le lait produit, pris dans le tank et donc non commercialisé (valeur par défaut),
- le lait écarté, décompté du lait jeté, puis lait produit si la quantité de lait écarté du jour n'est pas suffisante,
- le lait écarté, décompté du lait jeté, puis lait reconstitué à partir de poudre de lait achetée par l'éleveur si la quantité de lait écarté du jour n'est pas suffisante,
- du lait reconstitué à partir de poudre de lait achetée par l'éleveur.

Préparation au sevrage :

L'âge du sevrage des veaux femelles (conservés pour l'élevage) est paramétrable, sa valeur par défaut est de 70 jours. Pour ce qui est de leur préparation au sevrage par apport de concentré, la ration, paramétrable, est à réaliser sur la base d'un mélange de concentré distribué quotidiennement et à niveau constant. Par défaut, ce mélange est de 0,35 kgMB de concentré constitué à 80% d'orge et à 20% de tourteau de soja.

2.2.6.2.1.2 Alimentation des veaux femelles sevrés

Les veaux femelles sevrés sont nourris de fourrage, de concentré et d'un apport en minéraux et vitamines (AMV). Les valeurs d'équilibre sont paramétrables. Par défaut, elles sont déterminées de la manière suivante :

	Ensilage de maïs	**Foin**	**Orge**	**Soja**	**AMV**
Quantité	2 kgMS	1 kgMS	1 kgMB	1 kgMB	0.02 kgMB

Tableau 126 : Valeurs par défaut de l'alimentation quotidienne des veaux femelles sevrés.

Ces valeurs sont distribuées quotidiennement à niveau constant, elles correspondent à un âge médian de 5 mois.

2.2.6.2.1.3 Alimentation des génisses

Les génisses sont nourries différemment en stabulation et au pâturage, par un mélange de fourrage avec un éventuel complément en concentré et AMV. Les valeurs par défaut des mélanges de fourrage, de concentré d'équilibre et d'AMV distribués par jour sont les suivantes :

Type d'aliment		Génisses de moins de 20 mois (âge médian à 13 mois)		Génisses de plus de 20 mois non mises la reproduction		Génisses mises à la reproduction	
		Stabulation	Pâturage	Stabulation	Pâturage	Stabulation	Pâturage
Fourrage (kgMS/jour)	Ensilage de maïs	5.5	0	6.5	0	8	0
	Herbe verte	0	6	0	6.5	0	9
	Foin	0	0	0	0	1	0
	Ensilage d'herbe	0	0	0	0	0	0
Concentré (kgMB/jour)	Tourteaux de colza	0	0	0	0	0	0
	Tourteaux de soja	0,5	0	0.75	0	1	0
	Orge	0	0	0	0	0	0
AMV (kgMB/jour)		0.06	0	0.06	0	0.08	0

Tableau 127 : Valeurs par défaut de l'alimentation des génisses en fonction de leur âge et de leur lieu de vie.

2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation

La RBE distribuée aux vaches en lactation est dimensionnée pour une production laitière déterminée par l'éleveur définie par défaut à 26 kg/jour. Les rations de fourrage et de concentré d'équilibre distribuées au cours de cette période dépendent du calendrier. Les valeurs par défaut sont les suivantes :

Période (*)	Fourrage					Concentré				AMV (kgMB)
	Quantité (kgMS)	Ensilage de maïs (%)	Herbe verte (%)	Foin (%)	Ensilage d'herbe (%)	Quantité (kgMB)	Colza (%)	Soja (%)	Orge (%)	
Stabulation 100%	16	95	0	5	0	3.1	20	0	80	0.25
Pâturage 100%	20	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Pâturage le jour et stabulation la nuit	16	38	62	0	0	1.5	20	0	80	0.1

Tableau 128 : Valeurs par défaut pour l'alimentation des vaches en lactation en fonction des périodes stabulation/pâturage.

(*) voir le calendrier paragraphe *2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage*

L'alimentation des vaches en lactation peut être diminuée en fonction des pertes de production liées à l'occurrence de certaines maladies. Cet impact cumulé est décrit pour chaque maladie concernée dans leur paragraphe *« Impact sur l'alimentation »*. Cela ne concerne que la consommation de fourrage et de concentré.

2.2.6.2.1.5 Alimentation des vaches taries

Les vaches taries sont mises dans le lot des génisses amouillantes, elles bénéficient donc du même régime alimentaire.

2.2.6.2.2 Rations de concentré de production

Lorsque le niveau de production laitière d'une vache (primipare ou multipare) dépasse le seuil correspondant à la RBE définie (*cf. § 2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation*), une ration complémentaire et quotidienne de concentré de production lui est distribuée. Cette ration, exprimée en kgMB, correspond à un équivalent en gain de production paramétrable et défini par défaut à 2.5kg de lait pour 1 kgMB de concentré dont le type est modifiable et par défaut composé à 70% d'orge et 30% de tourteau de soja.

2.2.6.3 Données produites

Les données produites permettent de faire état des consommations de fourrage, de concentré et de minéraux et vitamines, elles sont produites uniquement dans la version « full results » du simulateur. La différence est faite entre les veaux, les génisses et les vaches. Le mode de calcul employé consiste à diviser la totalité de la consommation annuelle par la moyenne quotidienne des animaux présents dans le troupeau.

2.2.6.3.1 Consommation de lait, de concentré et de minéraux et vitamines par les veaux

Nom du résultat : « CalfFeedingResults »

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée est produite le dernier jour de l'exercice annuel. Elle concerne la consommation des veaux destinés à la vente (mâles, croisés viande, stériles et femelles surnuméraires), des veaux femelles non sevrés et des veaux femelles sevrés avant qu'ils ne rejoignent le lot des jeunes génisses.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Date	Date (*)	Date de bilan de consommation
Liter_discarded_milk	real	Quantité de lait écarté donné aux veaux
Liter_bulk_milk	real	Quantité de lait de tank donné aux veaux
Dehydrated_milk	real	Quantité de poudre de lait consommée
Maize_silage	real	Nombre de kgMS d'ensilage de maïs consommés
Grass	real	Nombre de kgMS d'herbe naturelle consommés
Hay	real	Nombre de kgMS de foin consommés
Grass_silage	real	Nombre de kgMS de d'ensilage d'herbe consommés
Rapeseed_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de colza consommés
Soja_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de soja consommés
Barley	real	Nombre de kgMB d'orge consommés
Minerals_and_vitamins	real	Nombre de kgMB de minéraux et vitamines consommés
< cadre de la simulation >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 129 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des veaux en lait

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées page 14.*

La quantité de poudre de lait est calculée en appliquant un taux constant de dilution de 125g de poudre pour un kilo de lait.

2.2.6.3.2 Consommation de fourrage, de concentré et de minéraux et vitamines par les génisses

Nom du résultat : « HeiferFeedingResults »

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Cette donnée est produite le dernier jour de l'exercice annuel. Elle est calculée en prenant en compte la consommation en fourrage, concentré et minéraux et vitamines des génisses jusqu'à un mois de leur premier vêlage.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Date	Date (*)	Date du bilan de consommation
Maize_silage	real	Nombre de kgMS d'ensilage de maïs consommés
Grass	real	Nombre de kgMS d'herbe naturelle consommés
Hay	real	Nombre de kgMS de foin consommés
Grass_silage	real	Nombre de kgMS de d'ensilage d'herbe consommés
Rapeseed_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de colza consommés
Soja_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de soja consommés
Barley	real	Nombre de kgMB d'orge consommés
Minerals_and_vitamins	real	Nombre de kgMB de minéraux et vitamines consommés
< cadre de la simulation >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 130 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des veaux préparés au sevrage et des génisses en fourrage et en concentré

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées page 14.*

2.2.6.3.3 Consommation de fourrage, de concentré et de minéraux et vitamines par les vaches

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Nom du résultat : « CowFeedingResults »

Cette donnée est produite le dernier jour de l'exercice annuel. Elle est calculée en prenant en compte la consommation en fourrage, concentré et minéraux et vitamines des génisses à moins d'un mois de leur vêlage, des vaches en péri-partum, en lactation et taries.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Format	Valeur
Date	Date (*)	Date de bilan du consommation
Maize_silage	real	Nombre de kgMS d'ensilage de maïs consommés
Grass	real	Nombre de kgMS d'herbe naturelle consommés
Hay	real	Nombre de kgMS de foin consommés
Grass_silage	real	Nombre de kgMS de d'ensilage d'herbe consommés
Rapeseed_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de colza consommés
Soja_meal	real	Nombre de kgMB de tourteaux de soja consommés
Barley	real	Nombre de kgMB d'orge consommés
Minerals_and_vitamins	real	Nombre de kgMB de minéraux et vitamines consommés
< *cadre de la simulation* >	*Cf. Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*	

Tableau 131 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des vaches en fourrage et en concentré

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées page 14.*

2.2.7 Comptabilité

2.2.7.1 Paramètres comptables

Le modèle comptable intègre le prix de chaque opération dont la comptabilité est souhaitée. Ainsi, au cours de la simulation, pour chaque opération réalisée pour laquelle est prévu un prix, ce dernier est ajouté à l'exercice comptable de l'exploitation.

Pour toutes les données comptables, les montants exprimés en négatif sont des charges pour l'exploitation, et les montants positifs des produits. Lorsque ce qui est décrit comme un produit est acheté (cas des génisses amouillantes par exemple), le système utilise la valeur en tant que produit et en inverse le signe pour en faire une charge.

Par défaut, les prix n'évoluent pas lors d'une simulation. Il est néanmoins possible de paramétrer une tendance concernant l'évolution annuelle (baisse ou augmentation) d'un ou plusieurs de ces prix, elle est prise en compte mensuellement lors de la simulation. Ce paramétrage est décrit au paragraphe *3.1.2 Création des modèles comptables*.

Les prix initiaux (en début de simulation) sont modifiables, les valeurs par défaut sont les valeurs moyennes constatées. Pour chaque module, elles sont définies ci-dessous.

2.2.7.1.1 Reproduction

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Acte vétérinaire de vêlage	Reproduction_costs	-3.00
Insémination par saillie	Reproduction_costs	0.00
Insémination artificielle conventionnelle	Reproduction_costs	-40.00
Insémination artificielle sexée mâle	Reproduction_costs	-60.00
Insémination artificielle sexée femelle	Reproduction_costs	-60.00
Coût par vache présente et par an du contrat vétérinaire reproduction	Reproduction_costs	-30.00
Coût du traitement vétérinaire pour vache vêlée non vue en chaleur	Reproduction_costs	-9.00
Coût du traitement vétérinaire pour inséminations artificielles non fécondantes successives	Reproduction_costs	-30.00
Coût du traitement vétérinaire pour diagnostic de gestation négatif	Reproduction_costs	-9.00

Tableau 132 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la reproduction

2.2.7.1.2 Production

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Vente d'une tonne de lait de base (hors critères de qualité et pénalités)	Milk_sales	330.00
Pénalité cellules 1er seuil (pour 1 tonne)	Milk_sales	-3.049
Pénalité cellules 2ème seuil (pour 1 tonne)	Milk_sales	-9.147
Pénalité cellules 3ème seuil (pour 1 tonne)	Milk_sales	-15.245
Bonus qualité TB (pour 1 tonne, base 38 g/litre)	Milk_sales	2.60
Bonus qualité TP (pour 1 tonne, base 32 g/litre)	Milk_sales	6.60

Tableau 133 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la production

Le prix du lait livré est calculé annuellement (pas de saisonnalité ni de variation mensuelle, sauf si une tendance est paramétrée, voir paragraphe précédent), il est fonction de la qualité : s'il présente un taux de cellules supérieur à différents paliers (voir § *2.2.2.1.1.5 Destination du lait*), une pénalité sera appliquée, par tranche, selon le paramétrage défini et dont les valeurs par défaut figurent dans le *Tableau 133 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la production* ci-dessus. En ce qui concerne la valorisation des TB et TP, si le taux dépasse celui de référence (voir *Tableau 133 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la*

[1] Voir le nom du champ du bilan économique publié selon les modalités du *Tableau 140 : Structure des données relatives au bilan économique exprimées en euros*

production), le bonus paramétré est ajouté par tonne en fonction de l'écart constaté. En revanche si la qualité est moindre que celle de référence, un malus est appliqué dans les mêmes conditions.

2.2.7.1.3 Santé

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Coût par vache présente et par an du contrat soins vétérinaires	Other_health_costs	-30.00
Coût par vêlage et par an du contrat soins vétérinaires	Other_health_costs	-31.50
Coût par kilolitre et par an du contrat soins vétérinaires	Other_health_costs	-3.52
Traitement hors contrat santé pour mammites G1 en lactation	Mastitis_health_costs	-20.00
Traitement sous contrat santé pour mammites G1 en lactation	Mastitis_health_costs	-20.00
Traitement hors contrat santé pour mammites G2 en lactation	Mastitis_health_costs	-20.00
Traitement sous contrat santé pour mammites G2 en lactation	Mastitis_health_costs	-18.00
Traitement hors contrat santé pour mammite G3 en lactation	Mastitis_health_costs	-250.00
Traitement sous contrat santé pour mammite G3 en lactation	Mastitis_health_costs	-50.00
Traitement hors contrat santé pour mammite de vaches taries	Mastitis_health_costs	-9.00
Traitement sous contrat santé pour mammite de vaches taries	Mastitis_health_costs	-9.00
Coût additionnel de la prévention mammite avec contrat de soins vétérinaires / vache / an	Mastitis_health_costs	-9.00
Coût d'un bolus de monensin	Ketosis_health_costs	-40.00
Traitement hors contrat santé pour une cétose de gravité G1	Ketosis_health_costs	-6.00
Traitement sous contrat santé pour une cétose de gravité G1	Ketosis_health_costs	-5.00
Traitement hors contrat santé pour une cétose de gravité G2	Ketosis_health_costs	-100.00
Traitement sous contrat santé pour une cétose de gravité G2	Ketosis_health_costs	-60.00
Coût additionnel de la prévention cétose avec contrat de soins vétérinaires / vache / an	Ketosis_health_costs	-5.00
Coût annuel d'un pédiluve	Foot_bath_lameness_costs	-67.00
Coût minimum de mise en service d'un pédiluve (jusqu'à 75 vaches)	Foot_bath_lameness_costs	-324.00
Coût maximum de mise en service d'un pédiluve (à partir de 76 vaches)	Foot_bath_lameness_costs	-648.00
Coût de l'installation de l'atelier de parage (curatif ou préventif)	Curative_trimming_lameness_costs ou Preventive_trimming_lameness_costs	-75.00
Coût du parage collectif préventif ou individuel curatif d'une vache saine ou boiteuse	Curative_trimming_lameness_costs ou Preventive_trimming_lameness_costs	-20.00
Coût du traitement d'une vache révélée ou détectée boiteuse non infectieuse (toutes gravités)	Curative_collective_non_infectious_lameness_costs ou Curative_individual_non_infectious_lameness_costs	-17.00
Coût du traitement d'une vache révélée ou détectée boiteuse infectieuse (toutes gravités)	Curative_collective_infectious_lameness_costs ou Curative_individual_infectious_lameness_costs	-5.00
Traitement non ciblé hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1 jusqu'à 7 jours d'âge	GENNI_health_costs	-29.60
Traitement non ciblé hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1 à partir de 8 jours d'âge	GENNI_health_costs	-24.33
Traitement non ciblé sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1 jusqu'à 7 jours d'âge	GENNI_health_costs	-25.00
Traitement non ciblé sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1 à partir de 8 jours d'âge	GENNI_health_costs	-20.00
Traitement non ciblé hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2 jusqu'à 7 jours d'âge	GENNI_health_costs	-131.06
Traitement non ciblé hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2 à partir de 8 jours d'âge	GENNI_health_costs	-125.79
Traitement non ciblé sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2 jusqu'à 7 jours d'âge	GENNI_health_costs	-100.00
Traitement non ciblé sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2 à partir de 8 jours d'âge	GENNI_health_costs	-95.00
Traitement ciblé ETEC hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-29.60
Traitement ciblé ETEC sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-25.00
Traitement ciblé ETEC hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-131.06
Traitement ciblé ETEC sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-100.00
Traitement ciblé Crypto hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-47.49
Traitement ciblé Crypto sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-40.00
Traitement ciblé Crypto hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-149.05
Traitement ciblé Crypto sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-110.00
Traitement ciblé Rota hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-24.33

Traitement ciblé Rota sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-20.00
Traitement ciblé Rota hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-125.79
Traitement ciblé Rota sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-95.00
Traitement ciblé Corona hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-24.33
Traitement ciblé Corona sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-20.00
Traitement ciblé Corona hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-125.79
Traitement ciblé Corona sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-95.00
Examen complémentaire vétérinaire hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-38.67
Examen complémentaire vétérinaire sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G1	GENNI_health_costs	-30.00
Examen complémentaire vétérinaire hors contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-64.76
Examen complémentaire vétérinaire sous contrat de soins vétérinaires pour une GENNI de gravité G2	GENNI_health_costs	-50.00
Vaccination ETEC + Rota + Corona hors contrat de soin vétérinaire	GENNI_health_costs	-14.67
Vaccination ETEC + Rota + Corona sous contrat de soin vétérinaire	GENNI_health_costs	-12.00
Vaccination Crypto hors contrat de soin vétérinaire	GENNI_health_costs	-13.58
Vaccination Crypto sous contrat de soin vétérinaire	GENNI_health_costs	-11.00
Coût additionnel lié à l'entretien pour un score d'hygiène de 3 et 4	GENNI_health_costs	-0.54
Coût additionnel lié à l'entretien pour un score d'hygiène de 5	GENNI_health_costs	-1.91
Coût annuel du matériel d'entretien pour un score d'hygiène de 3 ou 4	GENNI_health_costs	-33.60
Coût du matériel d'entretien pour un score d'hygiène de 5	GENNI_health_costs	-57.40
Coût du test ELISA sérique individuel avec prise en charge à 50% par le GDS	PTB_health_costs	-6.25
Coût du test PCR quantitative avec prise en charge à 50% par le GDS	PTB_health_costs	-18.25

Tableau 134 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la santé

2.2.7.1.4 Génétique

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Coût du génotypage RPTB avec prise en charge à 50% par le GDS	Genetic_costs	-41.00

Tableau 135 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la génétique

2.2.7.1.5 Population

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Vente d'un veau femelle de race laitière	Calf_sales	60.00
Vente d'un veau mâle de race laitière	Calf_sales	80.00
Vente d'un veau femelle croisé de race allaitante	Calf_sales	300.00
Vente d'un veau mâle croisé de race allaitante	Calf_sales	320.00
Vente d'une génisse vivante âgée jusqu'à 1 an	Heifer_sales	250.00
Vente d'une génisse vivante âgée de plus d'un an	Heifer_sales	600.00
Vente/achat d'une génisse amouillante	Heifer_sales/Population_costs	800.00
Vente d'une vache réformée	Cull_sales	700.00

Tableau 136 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la gestion de la population

2.2.7.1.6 Alimentation

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Achat d'une tonne de poudre de lait déshydraté	Feed_costs	-2000.00
Coût de production d'une tonne de plant de maïs (matière sèche)	Feed_costs	-200.00
Coût de production d'une tonne d'herbe fraiche (matière brute)	Feed_costs	-45.00
Coût de production d'une tonne de foin (matière sèche)	Feed_costs	-140.00
Coût de production d'une tonne d'ensilage d'herbe (matière brute)	Feed_costs	-130.00
Achat d'une tonne de colza (matière brute)	Feed_costs	-300.00
Achat d'une tonne de soja (matière brute)	Feed_costs	-330.00
Achat d'une tonne d'orge (matière brute)	Feed_costs	-160.00
Achat d'une tonne de minéraux et vitamine (matière brute)	Feed_costs	-660.00

Tableau 137 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à l'alimentation

2.2.7.1.7 Autres éléments comptables

Par défaut, les divers éléments comptables modélisés ont les valeurs suivantes :

Opération comptable	Classe comptable [1]	Tarif (€)
Equarrissage d'une génisse morte âgée jusqu'à 1 an	Other_costs	-20.00
Equarrissage d'une génisse morte âgée entre 1 et 2 ans	Other_costs	-30.00
Equarrissage d'une vache morte	Other_costs	-40.00
Contrôle laitier mensuel (par vache et par an)	Other_costs	-45.00
Test contrôle laitier Cetodetect ® (par vache et par an)	Other_costs	-3.76
Coût Herd Navigator ® (par vache et par an)	Other_costs	-35.00
Coût de production d'une tonne de paille (matière sèche)	Other_costs	-20.00

Tableau 138 : Tarifs par défaut des opérations comptables diverses

Pour prendre en compte les frais d'élevage qui ne sont pas décrits explicitement mais qui existent néanmoins, des forfaits suivants sont appliqués incluant les tarifs et la fréquence. Les valeurs tarifaires modifiables ont les valeurs par défaut suivantes :

Forfait	Classe comptable [1]	Tarif (€)	Fréquence
Achat de litière d'un veau	Other_costs	-20.00	Une fois (aux 2 mois d'âge du veau)
Frais vétérinaires par génisse du troupeau	Other_health_costs	-50.00	
Autres frais d'élevage d'un veau	Other_costs	-10.00	
Achat de litière par vache présente moyenne	Other_costs	-20.00	Annuelle
Frais vétérinaires moyens par vache présente (hors maladies gérées)	Other_health_costs	-40.00	
Autres frais d'élevage par vache présente moyenne (entretien de l'infrastructure de traite et hygiène de la mamelle)	Other_costs	-80.00	

Tableau 139 : Tarif forfaitaire et fréquence des coûts non décrits

2.2.7.2 Données produites

Les données produites concernent le détail du bilan économique. Elles sont systématiquement produites, quelle que soit la version du simulateur.

Nom du résultat : ces résultats sont intégrés dans la structure des résultats techniques décrite au paragraphe *3.3 Structure des résultats*.

Type de production : annuelle.

Niveau de l'information : Troupeau.

Ces données, toutes exprimées en euros, sont produites en fin de campagne.

Les champs disponibles sont les suivants :

Nom du champ	Mode de calcul
Gross_margin	Marge brute : Produit total – charges totales
Total_products	Vente lait + vente vaches de réforme + vente génisses + vente veaux
Milk_sales	Produit issu de la vente du lait (bonus et pénalités compris)
Cull_sales	Produit issu de la vente de vaches de réforme
Heifer_sales	Produit issu de la vente de génisses
Calf_sales	Produit issu de la vente de veaux
Total_expenses	Coût de l'alimentation + santé + reproduction + autres
Feed_costs	Charges liées à l'achat et à la production des aliments
Health_costs	Charges liées à la gestion de la santé
Mastitis_health_costs	Coût des actions préventives et traitements des mammites
Ketosis_health_costs	Coût des actions préventives et traitements des cétoses G1 et G2 + traitement Monensin
Curative_individual_infectious_lameness_costs	Coût des traitements individuels liés aux boiteries infectieuses (parage + traitement)
Curative_individual_non_infectious_lameness_costs	Coût des traitements individuels liés aux boiteries non infectieuses (parage + traitement)
Curative_collective_infectious_lameness_costs	Coût des traitements collectifs liés aux boiteries infectieuses (uniquement traitement)
Curative_collective_non_infectious_lameness_costs	Coût des traitements collectifs liés aux boiteries non infectieuses (uniquement traitement)
Curative_trimming_lameness_costs	Coût du parage curatif individuel (uniquement montage atelier)
Overall_curative_lameness_costs	Coût global du parage curatif
Preventive_trimming_lameness_costs	Coût du parage préventif (montage atelier + parage)
Foot_bath_lameness_costs	Coût d'exploitation du pédiluve
Genni_health_costs	Coût des actions préventives et traitements des GENNI G1 et G2
PTB_health_costs	Coût des actions préventives de la paratuberculose
Other_health_costs	Coût des autres frais de santé
Reproduction_costs	Charges liées à l'insémination
Population_costs	Charges liées à la gestion de la population
Genetic_costs	Charges liées à la génétique
Other_costs	Charges résiduelles : équarrissage, contrôle laitier

Tableau 140 : Structure des données relatives au bilan économique exprimées en euros

3 Modalités techniques d'emploi du simulateur

3.1 Principe général de mise en œuvre du simulateur

Le principe général de mise en œuvre du simulateur consiste à créer des élevages, à les associer à un modèle comptable, à modifier les valeurs de paramètres en fonction des scénarios à simuler, à créer les protocoles de simulation associés aux élevages précédemment valorisés et à lancer la simulation des protocoles souhaités. Les résultats sont alors produits.

3.1.1 Création des élevages

La création d'un élevage consiste à créer une instance qui comportera toutes les valeurs par défaut telles que décrites dans les chapitres précédents. L'utilisateur devra ensuite modifier les paramètres de l'élevage afin qu'il corresponde au scénario qu'il souhaite expérimenter. L'*Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage* permet de connaitre la quantité et la qualité de tous les paramètres disponibles pour configurer un élevage. L'utilisateur peut créer autant d'élevages qu'il le souhaite. Cela lui permettra de simuler des scénarios variés et pourra analyser les résultats en se basant sur leurs différences.

En fonction des déclinaisons, il peut être nécessaire de créer également un modèle comptable qui donne à certaines actions une dimension comptable.

3.1.2 Création des modèles comptables

La création d'un modèle comptable consiste à créer une instance qui comportera toutes les valeurs par défaut telles que décrites dans le chapitre *2.2.7.1 Paramètres comptables* précédent. Cette création est nécessaire pour la déclinaison définie dans le paragraphe *3.2.4 Package R*, elle n'est pas nécessaire pour la déclinaison définie dans le chapitre *3.2.1 Application Programming Interface (API)* car dans ce cas l'instance du modèle comptable est incluse dans l'élevage lui-même.

L'utilisateur devra ensuite modifier les paramètres du modèle comptable afin qu'il corresponde au scénario qu'il souhaite expérimenter. L'Annexe II : Liste des clés *de paramètres du modèle comptable* permet de connaitre la quantité et la qualité de tous les paramètres disponibles pour configurer un modèle comptable. L'utilisateur peut créer autant de modèles comptables qu'il le souhaite. Cela lui permettra de simuler des scénarios comptables variés et pourra analyser les résultats en se basant sur leurs différences.

3.1.3 Création des protocoles de simulation

Les protocoles permettent de définir les critères liés à la simulation. Cela concerne :

- La durée de la simulation, en années entières,
- La durée de la période de chauffe qui est une période pendant laquelle l'élevage avance sans produire de résultat,
- Le mois et l'année de début de simulation
- Le nombre de répétitions : le simulateur est un modèle stochastique, cela signifie qu'une répétition produira ses propres résultats lesquels seront statistiquement différents des autres. Pour une bonne significativité des résultats, il est recommandé de réaliser plusieurs centaines de répétitions.
- L'élevage créé préalablement et associé à ces directives de simulation.
- Selon les déclinaisons, le modèle comptable également associé (cas du package R, voir § *3.2.4 Package R*).

Dans le cas de la déclinaison sous la forme d'API (voir § *3.2.1 Application Programming Interface (API)*), deux types de protocoles sont proposés : les protocoles simples et les protocoles croisés.

3.1.3.1 Protocoles simples

Les protocoles simples permettent d'associer un protocole à un élevage dont le paramétrage est fixe. C'est la forme la plus simple de définition d'un protocole. Elle est optionnelle pour la déclinaison API mais imposée pour la déclinaison package R (voir § *3.2.4 Package R*).

Les résultats seront discriminés par la valeur du discriminant 1 prenant le nom de l'élevage correspondant (voir paragraphe *3.3 Structure des résultats*).

3.1.3.2 Protocoles croisés

Le protocole croisé est différent du protocole simple car, pour un même contexte de simulation, il permet de combiner des croisements de paramètres d'un élevage de référence. Ainsi, partant d'une situation d'élevage paramétrée au préalable, le protocole lorsqu'il se déroulera pourra modifier certains paramètres en fonction des croisement demandés par l'utilisateur. Par exemple le protocole sera en mesure de simuler l'élevage de référence en faisant varier la valeur de la prévention mammites à 0.8, puis à 1 et enfin à 1.2. Dans les résultats de simulations, les discriminants permettront de retrouver les résultats de chacun des niveaux de prévention. Jusqu'à 4 niveaux de croisements peuvent être programmés, ils seront discriminés par une donnée appelée justement « discriminant » (voir paragraphe *3.3 Structure des résultats*).

Ce dispositif a été proposé pour la déclinaison sous la forme d'API (voir § *3.2.1 Application Programming Interface (API)*) pour éviter aux utilisateurs d'être contraints de créer autant d'élevages que de variantes combinatoires à expérimenter. Il n'est pas proposé pour la déclinaison package R (voir § *3.2.4 Package R*) car cet inconvénient ne se présente pas, l'écriture sous la forme d'un script permettant techniquement de réaliser les croisements souhaités dans des boucles de programmation.

3.1.4 Lancement de la simulation et obtention des résultats

Une fois les élevages créés et les protocoles de simulation en place, la simulation peut être lancée. Suivant le nombre de répétitions demandé, la simulation peut durer de quelques secondes à plusieurs heures.

Les résultats produits sont fournis sous la forme d'un fichier CSV dont la structure est décrite dans le paragraphe *3.3 Structure des résultats* pour ce qui concerne le contexte de simulation et dans chacun des chapitres « Données produites » des différents modules pour ce qui est des données techniques.

La déclinaison package R (voir § *3.2.4 Package R*) permet de récupérer les données également sous la forme d'un « dataframe ».

3.2 Déclinaisons du simulateur

3.2.1 Application Programming Interface (API)

L'API est l'interface technique qui permet à une application cliente de dialoguer avec le serveur de simulation. Elle est mise en œuvre dans lors du développement de l'interface web d'une solution logicielle exogène partenaire, elle l'est également pour la déclinaison de DHM sous la forme d'une application web (voir § *3.2.2 Application WEB*).

Techniquement, les dialogues doivent respecter le format JSON, tant dans le formalisme des commandes que pour celui de la récupération de leurs résultats.

La structure de base d'une commande est la suivante :

```
{
    "user":"<user id>",
    ,"isPublic":<public>
    ,"cmd":"<command key>"
    <,"<arg n key>":"<arg n>">
}
```

Avec :

- `<user id>` = identification de l'utilisateur (valeur entière)
- `<public>` = l'utilisateur est public (valeurs booléennes true ou false)
- `<command key>` = clé de la commande (string)
- `<arg n key>` = clé des arguments spécifiques le cas échéant de la commande (string)

- `<arg n>` = valeur des arguments spécifiques le cas échéant de la commande (format dépend de l'argument).

La structure de base du message standard de retour est la suivante :

```
{
    "user":"<user id>"
    ,"cmd":"<command key>"
    <,"<field n key>":<field n value>>
    ,"result":"<result code>"
}
```

Avec :

- `<field n key>` = nom de la clé du ou des champs retournés (optionnel, string)
- `<field n value>` = valeur associée (format dépend du champ),
- `<result code>` = code du message de retour (string, voir § *3.2.1.8 Codes de messages*).

3.2.1.1 Commandes relatives aux élevages

3.2.1.1.1 Création d'un élevage

Cette commande crée un élevage avec les valeurs par défaut, associé à un modèle comptable par défaut.

Key	Value
`"cmd"`	`"createFarm"`
`"farmName"`	Nom du nouvel élevage
`"comment"`	Description du nouvel élevage

Tableau 141 : Clés et valeurs de la commande de création d'un élevage

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.1.2 Renommage d'un élevage

Cette commande permet de renommer un élevage existant.

Key	Value
`"cmd"`	`"renameFarm"`
`"farmName"`	Ancien nom de l'élevage concerné
`"newName"`	Nouveau nom pour l'élevage concerné

Tableau 142 : Clés et valeurs de la commande de renommage d'un élevage

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.1.3 Obtention de la liste des élevages

Cette commande permet d'obtenir la liste des noms des élevages existants.

Key	Value
`"cmd"`	`"getFarmList"`

Tableau 143 : Clé et valeur de la commande d'obtention de la liste des élevages

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées (`<field n key>` et `<field n value>`) sont « `,"farms":["<nom élevage 1>",…,"<nom élevage n>"]` ».

3.2.1.1.4 Récupération des paramètres d'un élevage

Cette commande permet de récupérer les paramètres d'un élevage existant ainsi que ceux du modèle comptable le concernant.

Key	Value
"cmd"	"getFarmParameters"
"farmName"	Nom de l'élevage concerné

Tableau 144 : Clés et valeurs de la commande de récupération des paramètres d'un élevage

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées et la fidélité aux valeurs par défaut sont regroupées selon qu'il s'agit des paramètres de l'élevage ou de ceux du modèle comptable associé, à savoir :

```
"farmParameters":[["<key 1>", <content 1>, <1 is default>]
                  ,["<key n>", <content n>, <n is default>]],
"accountingModelParameters":
               [["<key 1>", <content 1>, <tendency 1>, <1 is default>]
               ,["<key n>", <content n>, <tendency n>, <n is default>]]
```

Les clés retournées correspondent à celles décrites dans l'*Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage* et dans l'*Annexe II : Liste des clés de paramètres du modèle comptable*. La valeur de "*<is default>*" est booléenne. Les contenus de type chaine de caractères sont entourés de '"'.

3.2.1.1.5 Modification des paramètres d'un élevage

Cette commande permet de modifier les paramètres d'un élevage existant ainsi que du modèle comptable le concernant.

Key	Value	Référence
"cmd"	"setFarmParameters"	Voir *Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages* ou Tableau *167 : Clés des paramètres du modèle comptable*
"farmName"	Nom de l'élevage concerné	
"farmParameters"	Liste des paramètres d'élevage	
"accountingModelParameters"	Liste des paramètres du modèle comptable	

Tableau 145 : Clés et valeurs de la commande de modification d'un paramètre d'élevage

Les clés et les valeurs associées à fournir sont regroupées selon qu'il s'agit des paramètres de l'élevage ou de ceux du modèle comptable associé, à savoir :

```
"farmParameters":[["<key 1>", "<content 1>"]
                  ,["<key n>", "<content n>"]],
"accountingModelParameters":
               [["<key 1>", "<content 1>", "<tendency 1>"]
               ,["<key n>", "<content n>", "<tendency n>"]]
```

Les clés à fournir ainsi que les formats de données sont décrits dans l'*Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage* et dans l'*Annexe II : Liste des clés de paramètres du modèle comptable*.

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.1.6 Duplication d'un élevage

Cette commande permet de créer une copie d'un élevage existant ainsi que du modèle comptable le concernant.

Key	Value
`"cmd"`	`"duplicateFarm"`
`"farmName"`	Nom de l'élevage concerné

Tableau 146 : Clés et valeurs de la commande de duplication d'un élevage

Le nom du nouvel élevage est généré automatiquement à partir du nom de l'élevage d'origine auquel un `"_n"` est ajouté, `"n"` étant le numéro de la version.

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.1.7 Suppression d'un élevage

Cette commande permet de supprimer un élevage.

Key	Value
`"cmd"`	`"deleteFarm"`
`"farmName"`	Nom de l'élevage concerné

Tableau 147 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'un élevage

Si l'élevage concerné était associé à un protocole, ce dernier serait également supprimé. Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2 Commandes relatives aux protocoles de simulation

Les protocoles simples sont ceux qui sont associés à un élevage et qui n'ont pas été enrichis d'une gestion croisée. Ils sont donc exécutés en appliquant simplement les paramètres qui les définissent. Les protocoles croisés permettent de définir différentes valeurs de différents paramètres (d'élevage uniquement mais pas de modèle comptable), pour que toutes les combinaisons possibles puissent être simulées. La gestion des paramètres croisés fait l'objet du paragraphe *3.2.1.2.7 Gestion des paramètres croisés d'un protocole*.

3.2.1.2.1 Création d'un protocole

Cette commande crée un protocole. Les arguments à valoriser sont les suivants :

Key	Value	Format technique
`"cmd"`	`"createProtocol"`	Chaine de caractères
`"simple"`	`true` ou `false`	booléen
`"protocolName"`	Nom du protocole	Chaine de caractères
`"farmName"`	Nom de l'élevage associé	Chaine de caractères
`"comment"`	Description du protocole	Chaine de caractères
`"simulationDuration"`	Durée de la simulation	entier
`"runNumber"`	Nombre de runs	entier
`"warmupDuration"`	Durée de la période de chauffe	entier
`"simMonth"`	Mois de début de simulation	entier
`"simYear"`	Année de début de simulation	entier

Tableau 148 : Clés et valeurs de la commande de création d'un protocole

Les contenus de type chaine de caractères doivent être entourés de '"'. Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.2 Renommage d'un protocole

Cette commande permet de renommer un protocole.

Key	Value
"cmd"	"renameProtocol"
"protocolName"	Ancien nom du protocole concerné
"newName"	Nouveau nom pour le protocole concerné

Tableau 149 : Clés et valeurs de la commande de renommage d'un protocole

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.3 Obtention de la liste des protocoles

Cette commande permet d'obtenir la liste des noms des protocoles existants.

Key	Value
"cmd"	"getProtocolList"
"simple"	true ou false

Tableau 150 : Clé et valeur de la commande d'obtention de la liste des protocoles

L'argument "simple" permet de préciser si ce sont les protocoles simples ou croisés dont il faut la liste. Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées (<field n key> et <field n value>) sont :

,"simple":true ou false

,"protocols":["*<nom protocol 1>*",…,"*<nom protocol n>*"]

3.2.1.2.4 Récupération des paramètres d'un protocole

Cette commande permet de récupérer les paramètres d'un protocole existant.

Key	Value
"cmd"	"getProtocolParameters"
"protocolName"	Nom du protocole concerné

Tableau 151 : Clés et valeurs de la commande de récupération des paramètres d'un protocole

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées sont fournies de la manière suivante :

"protocolParameters":[["*<key 1>*",*<content 1>*],
["*<key n>*",*<content n>*]]

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées sont identiques à celles définissant les paramètres décrits dans le chapitre *1.1* . Les contenus de type chaine de caractères sont entourés de '"'. Les protocoles simples ne retournent pas de valeur de discriminants, ces derniers étant valorisés automatiquement par le nom même du protocole. En revanche, en ce qui concerne les protocoles croisés, les valeurs de croisement de chaque position de discriminants sont retournées de la manière suivante :

"protocolDiscriminants":[
{"discriminantPos":0,
"<clé du paramètre 1>":[val 1, val n],
"<clé du paramètre n>":[val 1, val n]},
{"discriminantPos":n,
{"<clé du paramètre 1>":[val 1, val n],
"<clé du paramètre n>":[val 1, val n]}]

3.2.1.2.5 Modification des paramètres d'un protocole

Cette commande permet de modifier les paramètres d'un protocole existant.

Key	Value	Référence
"cmd"	"setProtocolParameters"	Voir § *1.1*
"protocolName"	Nom du protocole concerné	
"protocolParameters"	Liste des paramètres du protocole	

Tableau 152 : Clés et valeurs de la commande de modification d'un paramètre de protocole

Les clés et les valeurs associées à fournir sont regroupées de la manière suivante :

"protocolParameters": [["*<key 1>*", *<content 1>*]
,["*<key n>*", *<content n>*]]

Les clés de paramètres *<key>* sont les mêmes que celles décrites au chapitre *3.2.1.2.1 Création d'un protocole* ci-dessus. Les contenus de type chaine de caractères doivent être entourés de '"'. Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.6 Suppression d'un protocole

Cette commande permet de supprimer un protocole.

Key	Value
"cmd"	"deleteProtocol"
"protocolName"	Nom du protocole concerné

Tableau 153 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'un protocole

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.7 Gestion des paramètres croisés d'un protocole

Il n'est possible d'adjoindre une gestion croisée de paramètres qu'à un protocole créé comme étant croisé (voir paragraphe *3.2.1.2.1 Création d'un protocole* ci-dessus). Pour cela, une commande permet d'ajouter une liste de valeurs pour un paramètre d'élevage donné, et une autre pour la supprimer.

3.2.1.2.7.1 Ajout d'une liste de valeurs de paramètre d'élevage à croiser

La commande d'ajout (ou de remplacement) d'une liste de valeurs à croiser pour un paramètre d'élevage donné est la suivante :

Key	Value	Référence
"cmd"	"appendProtocolCrossedValues"	Voir *Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages*
"protocolName"	Nom du protocole concerné	
"discriminantPos"	Position du discriminant concerné (entier, base 0)	
"key"	Clé du paramètre concerné	
"values"	[*<val 1>*, *<val 2>*, *<val n>*]	

Tableau 154 : Clés et valeurs de la commande d'ajout (ou de remplacement) d'une liste de valeurs de paramètre à croiser

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.7.2 Suppression d'une liste de valeurs de paramètre d'élevage à croiser

La commande de suppression d'une liste de valeurs à croiser pour un paramètre d'élevage donné est la suivante :

Key	Value	Référence
"cmd"	"removeProtocolCrossedValues"	Voir *Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages*
"protocolName"	Nom du protocole concerné	
"discriminantPos"	Position du discriminant concerné (entier, base 0)	
"key"	Clé du paramètre concerné	

Tableau 155 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'une liste de valeurs de paramètre à croiser

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique.

3.2.1.2.7.3 Modification du nom d'entête des discriminants

La commande de modification (ou de remplacement) du nom d'entête de chacun des discriminants est la suivante :

Key	Value
"cmd"	"setDiscriminantHeaderNames"
"protocolName"	Nom du protocole concerné
"0"	Nom à affecter au discriminant 1
"1"	Nom à affecter au discriminant 2
"2"	Nom à affecter au discriminant 3
"3"	Nom à affecter au discriminant 4

Tableau 156 : Commande de modification (ou de remplacement) du nom d'entête de chacun des discriminants

Cette commande ne retourne pas de champ spécifique. Si un même nom à affecter apparait plusieurs fois, l'erreur 408 est retournée.

3.2.1.2.7.4 Obtention du nom d'entête des discriminants

La commande d'obtention du nom d'entête de chacun des discriminants est la suivante :

Key	Value
"cmd"	"getDiscriminantHeaderNames"
"protocolName"	Nom du protocole concerné

Tableau 157 : Commande d'obtention du nom d'entête des discriminants

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées (<field n key> et <field n value>) sont :

,"0":"*<header discriminant 1 name>*"

,"1":"*<header discriminant 2 name>*"

,"2":"*<header discriminant 3 name>*"

,"3":"*<header discriminant 4 name>*"

3.2.1.3 Valeurs de référence

Il est possible de connaitre les valeurs de référence pour les paramètres. La commande est la suivante :

Key	Value
"cmd"	"getRefParameterValues"

Tableau 158 : Clé de la commande de récupération des valeurs de référence de paramètres

Les clés de champs spécifiques de retour ainsi que les valeurs associées sont regroupées selon qu'il s'agit des paramètres d'élevage, de modèle comptable associé ou de protocole, à savoir :

"farmParameters":

[["*<key 1>*", *<default 1>*, *<min 1>*, *<max 1>*, *<format 1>*, *<1 qualitative>*],

["*<key n>*", *<default n>*, *<min n>*, *<max n>*, *<format n>*, *<n qualitative>*]],

"accountingModelParameters":

```
[["<key 1>", <default 1>, <min 1>, <max 1>, <format 1>, <1 qualitative>],
 ["<key n>", <default n>, <min n>, <max n>, <format n>, <n qualitative>]],
"protocolParameters":
[["<key 1>", <default 1>, <min 1>, <max 1>, <format 1>, <1 qualitative>],
 ["<key n>", <default n>, <min n>, <max n>, <format n>, <n qualitative>]]
```

Les clés retournées correspondent à celles décrites dans l'*Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage,* dans l'*Annexe II : Liste des clés de paramètres du modèle comptable* et dans le chapitre *1.1* . La ligne d'information par paramètre est constituée de plusieurs champs :

- la valeur par défaut,
- la valeur minimale,
- la valeur maximale,
- Le format de la donnée :
  - `"boolean"` pour les valeurs booléennes,
  - `"text"` pour les valeurs de type texte,
  - `"integer"` pour les entiers,
  - `"double"` pour les décimaux.
- La qualification de la donnée (qualitatif vs quantitatif) :
  - donnée qualitative : `"true",`
  - donnée quantitative : `"false".`

Les données de type texte ont des valeurs min et max à « `null` ».

Cette commande permet également de fournir les noms par défaut des discriminants exploitables pour les protocoles croisés, avec pour `"<key n>"` le rang du discriminant concerné dont la valeur ira de `"0"` à `"3"`, puisque 4 discriminants au maximum peuvent être mis en œuvre, et le `<default n>` sera la valeur par défaut de type chaine de caractères entourée de '`"`'.

3.2.1.4 Restauration d'anciennes valeurs

Il est possible de récupérer des valeurs d'élevage, de modèles comptables et de protocoles ayant été sauvegardées lors de la dernière simulation. Ces données sont stockées au format xml dans le répertoire des résultats, ils permettent de récupérer les données à un format lisible pour être éventuellement corrigés à la suite d'une évolution du simulateur qui empêcherait de travailler avec d'anciennes valeurs de paramètres. La commande est la suivante :

Key	Value
`"cmd"`	`"restorePreviousDataCommand"`

Tableau 159 : Clé de la commande de restauration d'anciennes valeurs

Il n'y a pas de champ spécifique d'entrée ou de sortie pour cette commande.

3.2.1.5 Commande de lancement des simulations

Cette commande permet de lancer la simulation des protocoles indiqués.

Key	Value
`"cmd"`	`"run"`
`"protocols"`	Liste des noms de protocoles à simuler

Tableau 160 : Clé et valeur de la commande de lancement de la simulation

La liste des noms de protocoles doit être fournie de la manière suivante :

`"protocols": ["<name 1>", "< name n>"]`

Les résultats sont fournis sous la forme des champs spécifiques suivants :

`"simple":true` ou `false,`

```
"protocolName":"<crossed protocol name>",
"timestamp":"<yyyy>-<mm>-<dd>T<hh>:<mm>:<ss.sssssssss>Z",
"results":
 {"<every key>":
       {"<every discriminant pos>":
             {"<every variation>":
                   {"<every year>":
                         {
                               "min":<min value>,
                               "D1":<D1 value>,
                               "Q1":<Q1 value>,
                               "moy":<mean value>,
                               "med":<median value>,
                               "Q3":<Q3 value>,
                               "D9":<D9 value>,
                               "max":<max value>
                         },{<...>}
                   },{<...>}
             },{<...>}
       },{<...>}
}
```

La donnée `"protocolName"` est renseignée dans le cas d'une simulation à base d'un protocole croisé. S'il s'agit de protocoles simples, cette donnée est à `"null"`. Les clés *<every key>* sont décrites dans le chapitre résultat de chacun des modules présentés au chapitre *2.2 Modules*, colonne « Nom du champ ». Si après rupture de la connexion, une simulation est demandée alors qu'une est déjà en cours pour l'utilisateur, l'erreur 503 est retournée.

3.2.1.6 Commande d'obtention des derniers résultats synthétisés de simulation

Cette commande permet d'obtenir les derniers résultats synthétisés de simulation.

Key	Value
`"cmd"`	`"getLastResults"`

Tableau 161 : Clé et valeur de la commande d'obtention des derniers résultats synthétisés

Ces résultats sont fournis avec la même structure que celle décrite dans le chapitre *3.2.1.5 Commande de lancement des simulations* ci-dessus. Le résultat "`"results":{}`" est retourné si aucune simulation n'a encore été lancée par l'utilisateur courant.

3.2.1.7 Commande d'obtention des derniers résultats bruts de simulation

Cette commande permet d'obtenir les derniers résultats bruts de simulation.

Key	Value
`"cmd"`	`"getLastGrossResults"`

Tableau 162 : Clé et valeur de la commande d'obtention des derniers résultats bruts

Ces résultats sont fournis de manière brute sous forme de liste de lignes dont la première est la ligne d'entête et les suivantes les résultats annuels tels que décrits dans le chapitre *3.3 Structure des résultats*.

3.2.1.8 Codes de messages

Toutes les sollicitations du serveur de simulation occasionnent en retour un code de résultat `<result code>` (voir § *3.2.1 Application Programming Interface (API)*). La signification des codes est la suivante :

Numéro du code	Signification
Général	
200	Opération réalisée sans erreur
201	Commande inconnue
Elevages	
300	Nom d'élevage inconnu
301	Elevage déjà existant
302	Clé de paramètre d'élevage inconnue
303	Valeur de paramètre d'élevage incorrecte
304	Clé de modèle comptable inconnue
305	Valeur de paramètre de modèle comptable inconnue
Protocoles	
400	Nom de protocole inconnu
401	Protocole déjà existant
402	Clé de paramètre de protocole inconnue
403	Valeur de paramètre de protocole incorrecte
404	Nombre maximum de valeurs croisées déjà atteint
405	Nombre maximum de discriminants déjà atteint
406	Le nombre de valeurs de chaque paramètre à croiser pour un discriminant n'est pas le même
407	La durée de la simulation doit être supérieure à celle de la période de chauffe
408	Un nom de discriminant est déjà utilisé par un autre
409	Il n'existe pas de discriminant à la position indiquée
410	Le paramètre indiqué ne figure pas parmi ceux du discriminant concerné
Simulation	
500	Simulation demandée sans protocole actif
501	La simulation du protocole croisé ne peut pas être lancée du fait qu'aucun croisement n'y est programmé
502	La simulation doit être demandée pour un ou plusieurs protocoles simples, ou un seul protocole croisé
503	Une simulation est déjà en cours pour l'utilisateur courant

Tableau 163 : Tableau des codes de retour de l'API

3.2.2 Application WEB

L'application WEB est accessible au public en suivant le lien : www.dairyhealthmanager.fr. Elle permet à tout visiteur, après inscription, de créer des élevages en disposant de quelques paramètres modifiables, de créer des protocoles simples avec un nombre limité de répétions et de lancer des simulations. L'utilisateur public a accès à tous les résultats de ses simulations. Le profil « administrateur » de l'application permet d'octroyer des droits de paramétrage sur chacun des modules de DHM, ces derniers n'étant pas accessible à la base pour les visiteurs publics.

3.2.2.1 Création et paramétrage d'un élevage

Une fois inscrit et connecté, l'utilisateur peut créer un ou plusieurs élevages en cliquant sur « + Je crée mon premier élevage » :

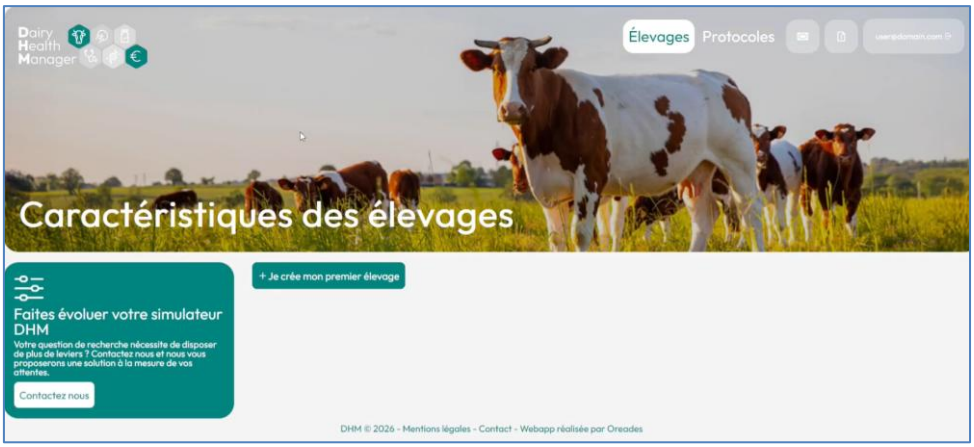


Figure 31 : Création d'un élevage dans l'application WEB

Il faut ensuite renseigner un nom et une description :



Figure 32 : Nom et description d'un élevage dans l'application WEB

Il est alors possible de modifier un ou plusieurs paramètres (techniques ou comptables) qui permettront de définir concrètement le scénario d'élevage :

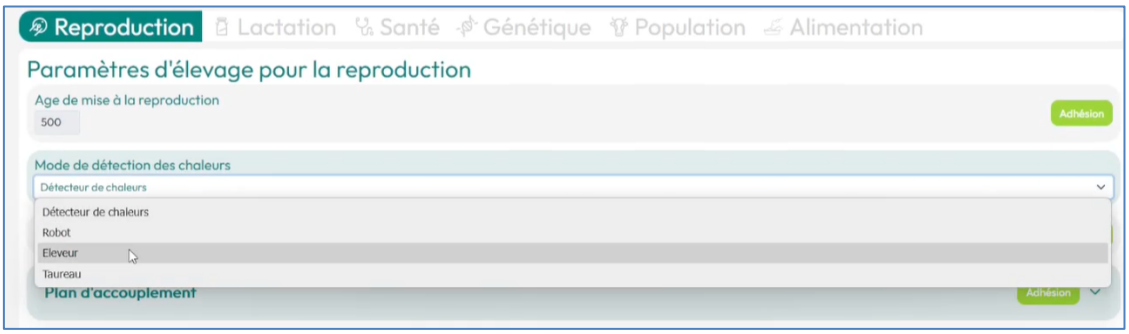


Figure 33 : Modification d'un paramètre d'élevage dans l'application WEB

A noter que dans la version publique, seuls certains paramètres sont modifiables. Pour disposer de plus de paramètres, il est conseillé de contacter l'UMR BIOEPAR (formulaire disponible en ligne). Il est également à noter que dans l'application Web, le paramétrage du modèle comptable à associer est réalisé dans la partie paramétrage de l'élevage lui-même.

3.2.2.2 Création et paramétrage d'un protocole de simulation

L'utilisateur peut créer un ou plusieurs protocoles en cliquant sur « ajouter protocole simple » :



Figure 34 : Création d'un protocole simple dans l'application WEB

La page de paramétrage du protocole nécessite de lui donner un nom et de valoriser spécifiquement les paramètres le cas échéant. C'est à ce stade que le protocole doit être associé à un élevage :

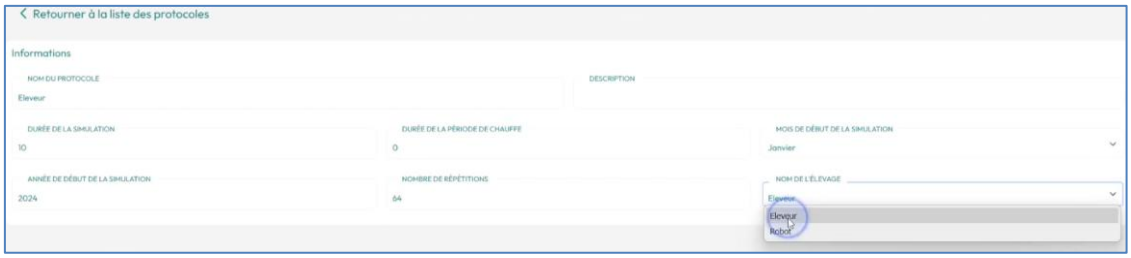


Figure 35 : Paramétrage d'un protocole simple dans l'application WEB

Le paramétrage d'un protocole croisé est identique. L'utilisateur ayant souscrit à des options payantes pourra croiser certains paramètres en créant les discriminants nécessaires pour organiser la simulation de ce protocole croisé :

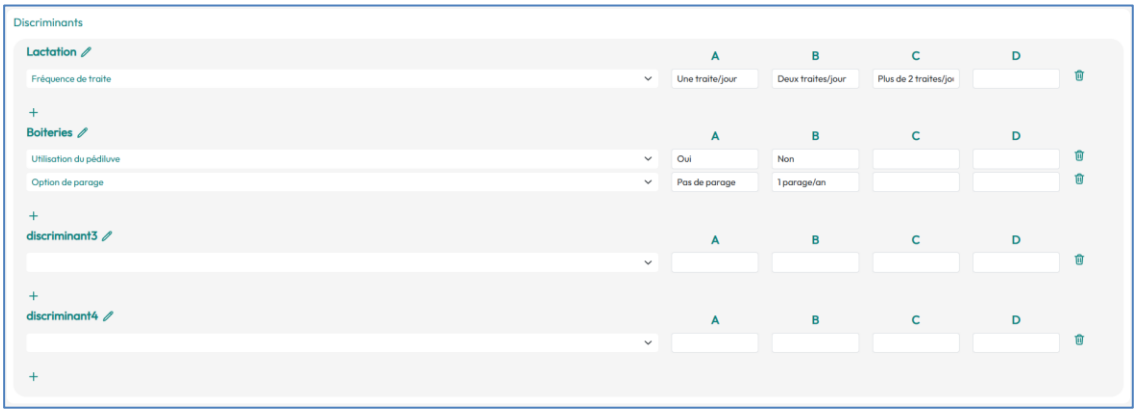


Figure 36 : Discriminants d'un protocole croisé dans l'application WEB

Dans l'exemple ci-dessus, l'utilisateur a prévu deux niveaux de discrimination :

- Le niveau nommé « lactation » qui envisage 3 modalités de traite,
- Le discriminant nommé « boiteries » qui envisage 2 modalités d'usage du pédiluve et de parage.

Concrètement, lorsque ce protocole sera lancé, les élevages sous-jacents seront créés de façon temporaire et seront simulés individuellement, à savoir :

- L'élevage AA : « une traite par jour », pédiluve utilisé et pas de parage,
- L'élevage AB : « une traite par jour », pédiluve non utilisé et 1 parage par an,
- L'élevage BA : « deux traites par jour », pédiluve utilisé et pas de parage,
- L'élevage BB : « deux traites par jour », pédiluve non utilisé et 1 parage par an,

- L'élevage CA : « plus de deux traites par jour », pédiluve utilisé et pas de parage,
- L'élevage CB : « plus de deux traites par jour », pédiluve non utilisé et 1 parage par an,

Attention : pour un discriminant, le nombre des modalités de chaque paramètre doit être le même (ici deux pour le discriminant « Boiteries »).

3.2.2.3 Lancement de la simulation

Pour lancer la simulation, l'utilisateur sélectionne le ou les protocoles impliqués et clique sur le bouton « Lancer la simulation des protocoles simples sélectionnés » pour les protocoles simples, et « Lancer la simulation du protocole croisé sélectionné » :

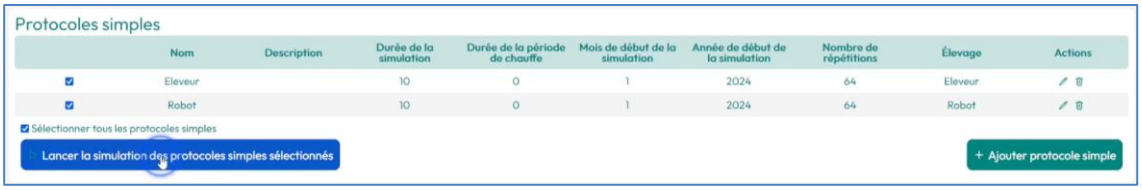


Figure 37 : Lancement de la simulation dans l'application WEB

Il n'est pas possible de lancer la simulation de plusieurs protocoles croisés simultanément.

Une fois la simulation terminée, une première synthèse des résultats est affichée. Cela concerne les résultats techniques et sanitaires :

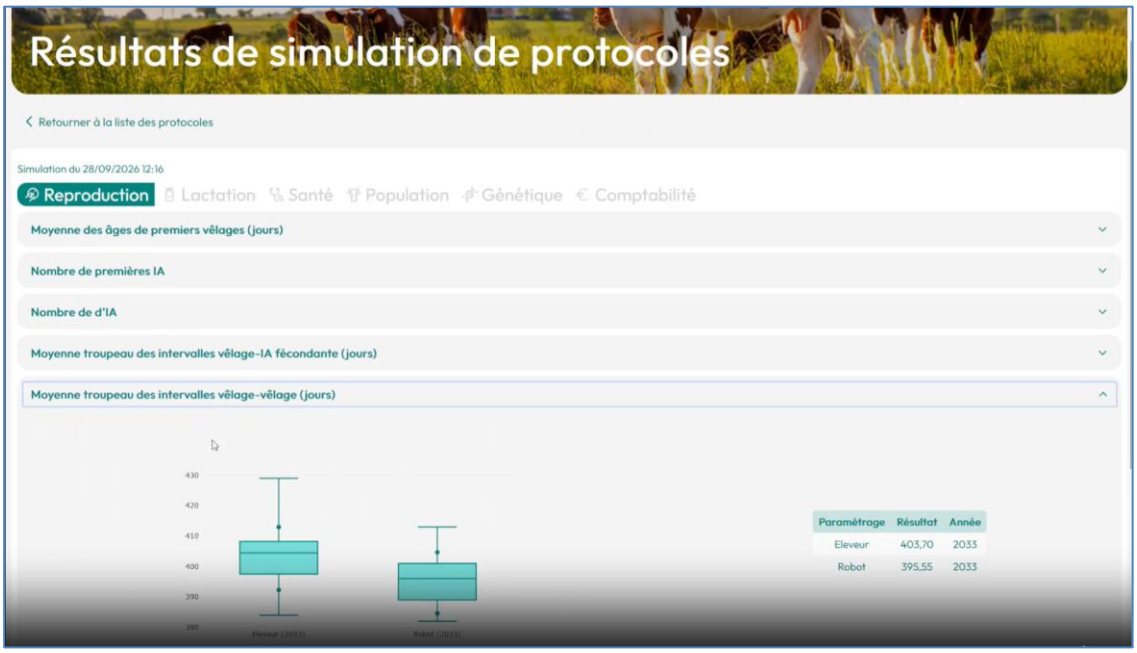


Figure 38 : Résultats techniques et sanitaires de simulation dans l'application WEB

Cela concerne également les résultats comptables :

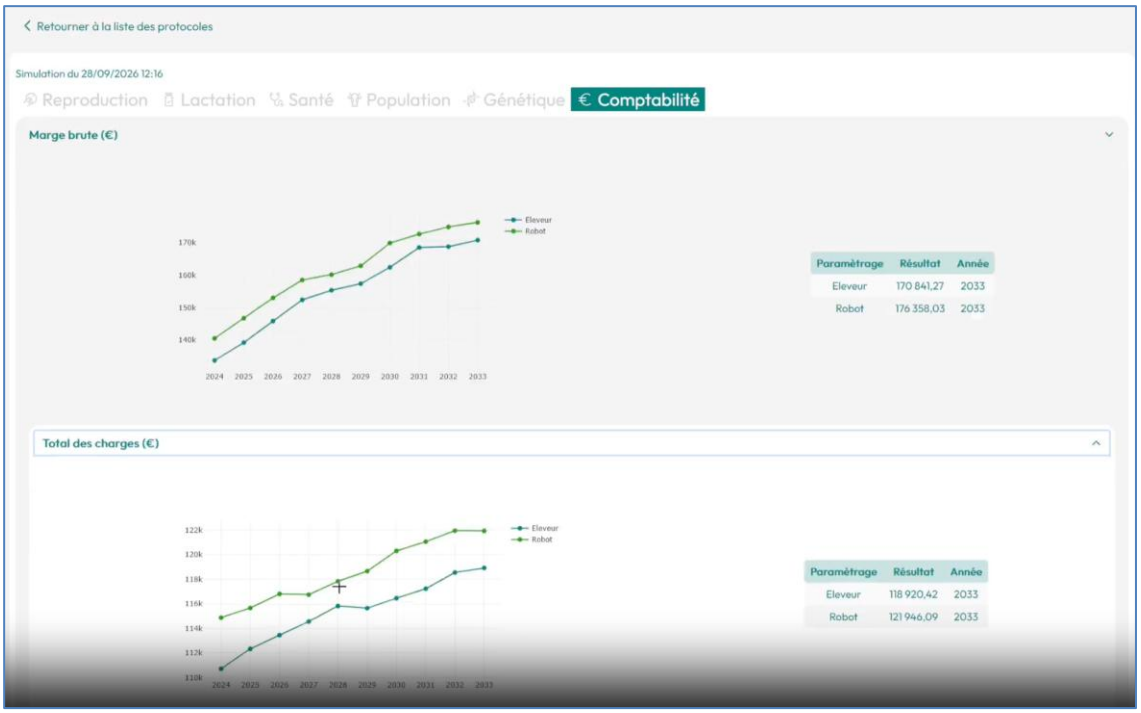


Figure 39 : Résultats comptables de simulation dans l'application WEB

La page de gestion des protocoles permet de télécharger les données brutes (au format csv) de la dernière simulation pour éventuellement les traiter avec un outil tiers d'analyse de données :



Figure 40 : Téléchargement des données brutes de la dernière simulation dans l'application WEB

3.2.2.4 Gestion des utilisateurs

Le profil administrateur permet, en plus de disposer de tous les leviers de simulation, de gérer les utilisateurs inscrits et d'en créer de toutes pièces :

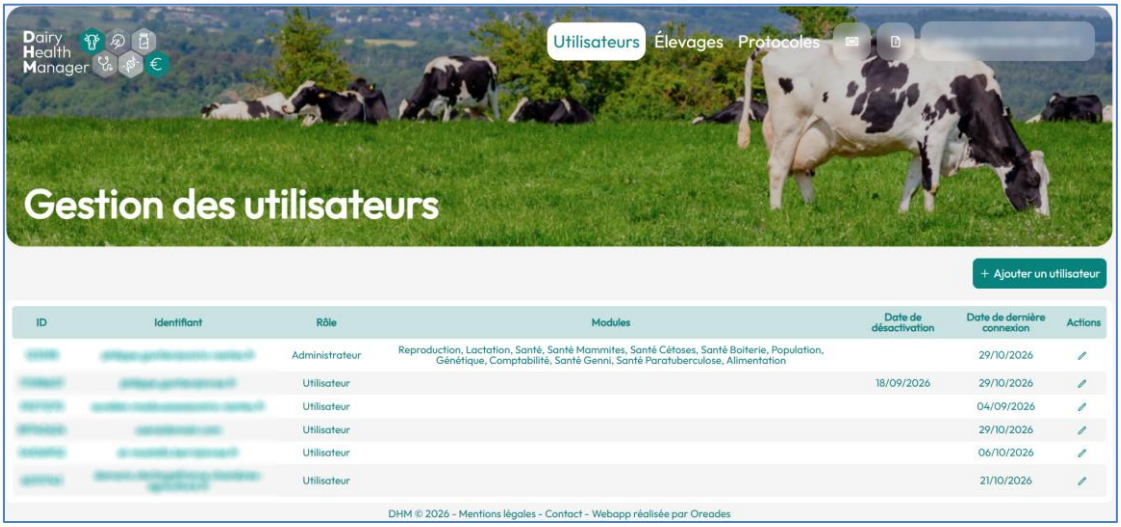


Figure 41 : Interface de gestion des utilisateurs dans l'application WEB

C'est l'interface qui permet l'octroi des modules convenus pour un utilisateur donné :

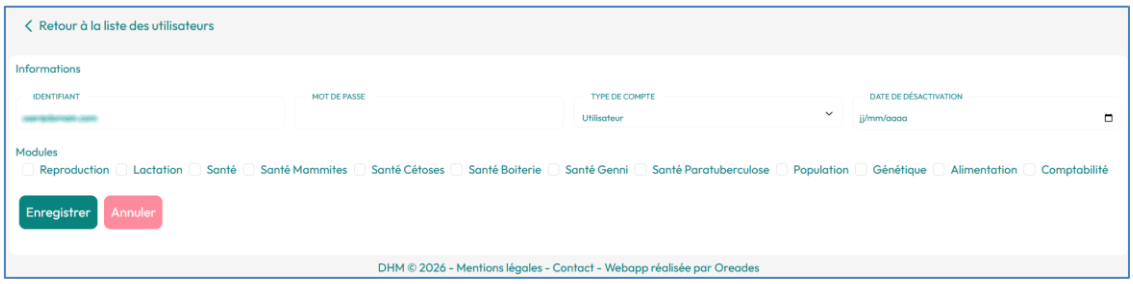


Figure 42 : Octroi des modules pour les utilisateurs dans l'application WEB

3.2.3 Application standalone

La version installable permet de déployer localement l'application web précédemment décrite, avec la mise à disposition de tous les leviers activés. C'est le moyen de lancer en toute autonomie les simulations souhaitées avec une production locale des résultats. Cette installation a une durée de validité définie par l'installateur en fonction de la licence d'utilisation convenue. Passée la période de validité, l'application ne proposera plus que le paramétrage public, dans les mêmes conditions que celles définies dans le paragraphe précédent.

Ce package n'est pas disponible en téléchargement, il est nécessaire d'utiliser le formulaire de contact de l'application web pour en demander le bénéfice.

3.2.4 Package R

Ce package permet la simulation à partir de scripts R à développer par l'utilisateur, il est fourni sous la forme d'une archive xml binaire. De la même manière que pour l'installateur standalone, ce package n'est pas disponible en téléchargement et ne figure pas dans la bibliothèque CRAN des packages R publics. Il est rendu disponible dans le répertoire `"pkg"` du dossier d'installation de la version standalone de DHM (voir § *3.2.3 Application standalone*).

3.2.4.1 Installation du package R

Le prérequis pour l'installation du package R est le suivant :

- Installer R : https://cran.r-project.org/
- Installer R Studio : https://posit.co/download/rstudio-desktop/#download
- Installer RTools : https://cran.r-project.org/bin/windows/Rtools/rtools45/rtools.html
- Installer librairie Rcpp : https://cran.r-project.org/web/packages/Rcpp/index.html

Dans R studio, cliquer sur `"Packages" -> "Install" -> "Package Archive File"` et choisir le fichier archive souhaité (nommé `"dhm_<version>.zip"`).

3.2.4.2 Mise en œuvre du package R

La première instruction consiste à créer l'instance de simulation :

```
dhm_init_instance()
```

3.2.4.2.1 Création des élevages avec le package R

Pour créer un élevage, il faut charger les valeurs par défaut dans une donnée puis modifier le cas échéant le ou les paramètres souhaités :

```
# Farm 1 : Default : Without vet care contract
farm1_name = "Without vet care contract"
Farm1 = dhm_get_defaut_farm_parameters()
```

```
errorMessage <- dhm_create_dairy_farm(Farm1, farm1_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")

# Farm 2 : specific : With vet care contract
farm2_name = "With vet care contract"
Farm2 = dhm_get_defaut_farm_parameters()
Farm2$vetCareContract = "1"
errorMessage <- dhm_create_dairy_farm(Farm2, farm2_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")
```

Le nom des paramètres à modifier dans la donnée de l'élevage (ici `"Farm1"` et `"Farm2"`) est défini selon les clés décrites en *Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage*.

3.2.4.2.2 Création des modèles comptables avec le package R

De la même manière, pour créer un modèle comptable, il faut charger les valeurs par défaut dans une donnée puis modifier le cas échéant la ou les valeurs souhaitées :

```
# Get a default accounting parameter
accounting_model_name = "Default accounting model"
default_amp <- dhm_get_defaut_accounting_model_parameters()
errorMessage <- dhm_create_accounting_model(default_amp, accounting_model_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")
```

Le nom des valeurs à modifier dans la donnée du modèle comptable (ici `"default_amp"`) est défini selon les clés décrites en *Annexe II : Liste des clés de paramètres du modèle comptable*.

3.2.4.2.3 Création des protocoles avec le package R

De la même manière, pour créer un protocole, il faut charger les valeurs par défaut dans une donnée puis modifier le cas échéant le ou les valeurs souhaitées :

```
# Protocol creating (one by farm)
protocol_list <- c("Protocol farm 1", "Protocol farm 2")
farm_list <- c(farm1_name, farm2_name)
discriminant_list <- c("Default", "Specific")
for (i_protocol in 1:length(protocol_list))
{
  if (errorMessage == "")
  {
    # Get a default protocol parameter list
    pp <- dhm_get_defaut_protocol_parameters()
    pp$simulationDuration = "15"
    pp$warmupDuration = "5"
    pp$runNumber = "64"
    pp$farmName = farm_list[i_protocol]
    pp$accountingModelName = accounting_model_name
    pp$discriminant1 = discriminant_list[i_protocol]

    # Create the protocol based on this parameters
```

```
    errorMessage <- dhm_create_protocol(pp, protocol_list[i_protocol])
  }
}
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")
```

Le package R ne propose pas de protocoles croisés car il est facile dans un script R de procéder aux boucles nécessaires pour croiser les paramètres souhaités.

3.2.4.2.4 Lancement de la simulation avec le package R

Une fois créés les élevages, les modèles comptable et les protocoles, il est possible de lancer la simulation :

```
#resultPath = "C:/your/result/folder/" # if you want to create result csv files
resultPath = "" # -> no csv result files, but dataframe
results <- dhm_execute_protocols(resultPath)
```

3.2.4.2.5 Récupération des résultats avec le package R

En fonction du mode de production choisi, les résultats seront produits dans une dataframe (celle nommée `"results"` dans notre exemple), et optionnellement sous la forme d'un fichier csv accessible dans le répertoire désigné (`"resultPath"` dans notre exemple) s'il n'a pas été initialisé à `""`.

L'exemple complet de mise en œuvre du package R est proposé en *Annexe III : Exemple de mise en œuvre du package R*. Cet exemple donne les résultats suivants :

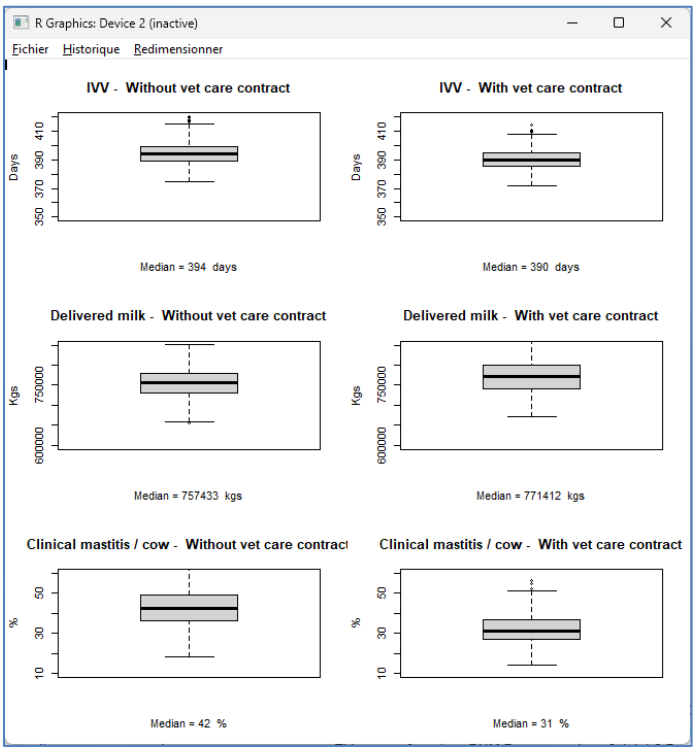


Figure 43 : Comparaison technique de deux scénarios avec l'emploi du packages R

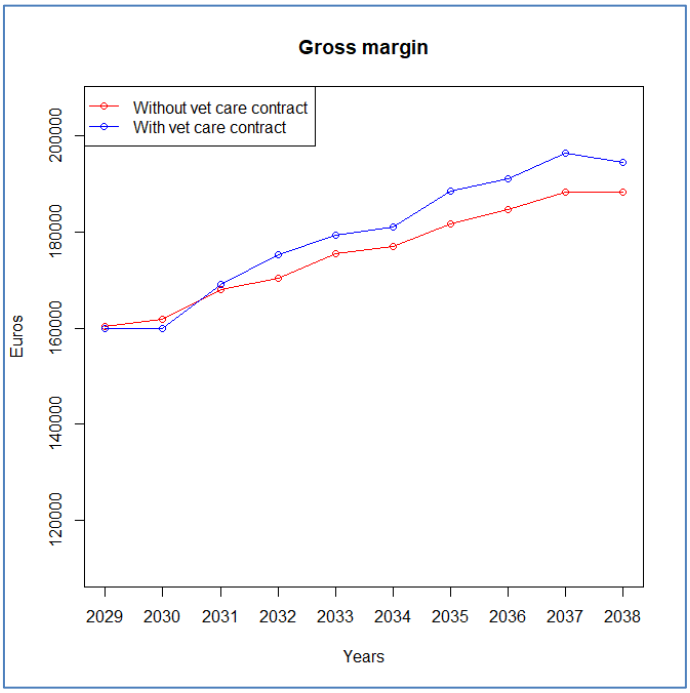


Figure 44 : Comparaison comptable de deux scénarios avec l'emploi du packages R

La dernière instruction à réaliser pour quitter le simulateur est la suivante :

```
dhm_leave_instance()
```

3.3 Structure des résultats

Les fichiers de résultats sont pour l'application standalone déposés dans le répertoire défini comme tel lors de l'installation du logiciel. Dans le cas d'une utilisation sous R, ils sont fournis dans le répertoire indiqué et/ou sous la forme d'une `"dataframe"`. Les résultats retournés par l'API respectent la structure définie au chapitre *3.2.1.5 Commande de lancement des simulations*.

La plupart des résultats sont décrits dans chacun des chapitres concernés. Parmi les champs spécifiques figurent ceux définissant le cadre de la simulation, à savoir :

Nom du champ	Description
Campaign (*)	Campagne concernée
Run_number	Numéro du run (base 0)
Discriminant1 (**)	Valeur des discriminants (*cf. § 3.1.3 Création des protocoles de simulation*)
Discriminant2 (**)	
Discriminant3 (**)	
Discriminant4 (**)	

Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation

(*) *cf. Tableau 2 : Formats des données typées* page 14.

(**) *nom par défaut.*

Pour chacun des résultats, les champs suivants sont tels que décrits dans les chapitres correspondants.

En revanche, en vue de faciliter leur analyse, certains résultats particuliers ont été fusionnés dans une seule structure nommée `"TechnicalAndEconomicalResults"`. C'est le cas des résultats techniques qui concernent la reproduction, la production, les maladies gérées, la gestion de la population et le bilan économique. Cette structure est organisée de la manière suivante :

Classe de champ	Référence
Cadre de la simulation	*Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation*
Données de reproduction	§ *2.2.1.3.3*
Données de production	§ *2.2.2.3.4*
Données des maladies gérées	§ *2.2.3.6*
Données de gestion de la population	§ *2.2.5.3*
Données du bilan économique	§ *2.2.7.2*

Tableau 165 : Structure des données techniques

3.4 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité du modèle a été réalisée en 2025 dans le cadre du projet COMAD-DHM, elle a fait l'objet d'un rapport (Caillat *et al.*, 2025).

3.5 Caractéristiques techniques

Les caractéristiques nécessaires à la mise en œuvre du simulateur sont les suivantes :

Poste d'accueil « standalone » :

Les caractéristiques minimales attendues sont les suivantes :

- Mémoire : 16 Go
- CPU : horloge à 4GHz, 8 cœurs
- Espace disque : 1 Go (dépend des protocoles de simulation).

La durée et le nombre de répétitions pour les simulations de l'élevage par défaut selon le protocole par défaut sont les suivantes :

- 8 ans de pré-simulation + 1 an de simulation effective, pas de rodage, 8 répétitions
- 8 ans de pré-simulation + 10 ans de simulation effective, pas de rodage, 8 répétitions
- 8 ans de pré-simulation + 15 ans de simulation effective, pas de rodage, 16 répétitions

Ce protocole conduit à réaliser 32 répétitions pour un temps machine total d'à peu près 8 secondes, ce qui représente à peu près de 0,25 secondes par répétition, les résultats occupent 4.57 Mo d'espace disque pour la version standalone.

4 Remerciements

Nous remercions Aurélien Madouasse pour l'expertise apportée dans le domaine de l'interaction entre biologie et conduite d'élevage, et pour avoir accepté de reprendre le flambeau de l'expertise métier qu'assurait Nathalie Bareille avant son départ en retraite.

Merci à François Beaudeau pour son précieux concours lors du développement du module génétique.

Merci à Florence Beaugrand pour son expertise sur la contractualisation de la relation entre les vétérinaires et les éleveurs.

Merci à Claire Jutel, Solène Baussaint, Matthieu Bussac et Suzie Bellou, étudiants à Oniris, pour les études bibliographiques qu'ils ont menées dans le cadre de leur thèse vétérinaire sur des sujets divers de santé animale et de conduite d'élevage, puis pour leur implication dans le développement des parties correspondantes du simulateur, travail qui a grandement contribué à son enrichissement et sa maturité. Merci à Tom Hinschberger et Clémence Grolleau, également étudiants à Oniris, pour la description de la partie paratuberculose dans le cadre de leur thèse vétérinaire et pour avoir bien voulu évaluer la version web du simulateur, merci à Christine Fourichon pour leur encadrement.

Merci à Maéva Caillat pour ses travaux visant à analyser la sensibilité de ce modèle complexe et de grande taille, pour avoir accepté de relever le défi méthodologique que cela induisait.

Merci à la société « Génération Internet » pour la qualité du développement de la partie interface web, pour son concours apprécié à la réalisation de l'API et enfin pour son accompagnement dans notre appropriation des éléments techniques. Merci à Nolan Le Méteil, stagiaire de l'IUT Laval, pour avoir pris le relais de la société en complétant les développements avec succès.

Merci à Mustapha Berri, chargé de partenariat et d'innovation à INRAE et Fanny Wacquet responsable valorisation à INRAE pour leur investissement dans la promotion du simulateur.

5 Sources documentaires

Abuelo, A., Cullens, F. et Brester, J.L. (2021) « Effect of preweaning disease on the reproductive performance and first-lactation milk production of heifers in a large dairy herd », *Journal of Dairy Science*, 104(6), p. 7008-7017. doi:10.3168/jds.2020-19791.

Afonso, J.S. *et al.* (2020) « Profiling Detection and Classification of Lameness Methods in British Dairy Cattle Research: A Systematic Review and Meta-Analysis », *Frontiers in Veterinary Science*, 7(August), p. 1-20. doi:10.3389/fvets.2020.00542.

Aly, S.S. *et al.* (2012) « Cost-effectiveness of diagnostic strategies to identify Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis super-shedder cows in a large dairy herd using antibody enzyme-linked immunosorbent assays, quantitative real-time polymerase chain reaction, and bacterial culture », *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 24(5), p. 821-832. doi:10.1177/1040638712452107.

Andrews, A.H. (2004) *Calf Rearing*, *Blackwell Science*. doi:10.1002/9780470752401.ch14.

Ariza, J.M. *et al.* (2017) « Effectiveness of collective treatments in the prevention and treatment of bovine digital dermatitis lesions: A systematic review », *Journal of Dairy Science*, 100(9), p. 7401-7418. doi:10.3168/jds.2016-11875.

Bar, D. *et al.* (2008) « Effects of repeated episodes of generic clinical mastitis on mortality and culling in dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 91(6), p. 2196-2204. doi:10.3168/jds.2007-0460.

Bareille, N. *et al.* (2003) « Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows », *Livestock Production Science*, 83(1), p. 53-62. doi:10.1016/S0301-6226(03)00040-X.

Bareille, N. (Oniris N. *et al.* (2016) *Polycopié n° 1 : Reproduction des bovins laitiers ; Elevage des jeunes et du prétroupeau*.

Bareille, N. (Oniris N. *et al.* (2017) « Polycopié N° 2 : Lactation et production de lait chez les bovins laitiers ».

Barker, Z.E. *et al.* (2010) « Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales », *Journal of Dairy Science*, 93(3), p. 932-941. doi:10.3168/jds.2009-2309.

Bartels, C.J.M. *et al.* (2010) « Prevalence, prediction and risk factors of enteropathogens in normal and non-normal faeces of young Dutch dairy calves », *Preventive Veterinary Medicine*, 93(2-3), p. 162-169. doi:10.1016/j.prevetmed.2009.09.020.

Beam, A.L. *et al.* (2009) « Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations », *Journal of Dairy Science*, 92(8), p. 3973-3980. doi:10.3168/jds.2009-2225.

Beaudeau, F. (Oniris N. *et al.* (2016) « Polycopié n° 3 : Amélioration génétique des bovins laitiers ».

Belay, T.K. *et al.* (2017) « Genetic parameters of blood β-hydroxybutyrate predicted from milk infrared spectra and clinical ketosis, and their associations with milk production traits in Norwegian Red cows », *Journal of Dairy Science*, 100(8), p. 6298-6311. doi:10.3168/jds.2016-12458.

Benedet, A. *et al.* (2019) « Invited review: β-hydroxybutyrate concentration in blood and milk and its associations with cow performance », *Animal*, 13(8), p. 1676-1689. doi:10.1017/S175173111900034X.

Berge, A.C. et Vertenten, G. (2014) « A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds », *Journal of Dairy Science*, 97(4), p. 2145-2154. doi:10.3168/jds.2013-7163.

Berry, D.L. *et al.* (1998) « The expression pattern of thyroid hormone response genes in remodeling tadpole tissues defines distinct growth and resorption gene expression programs », *Developmental Biology*, 203(1), p. 24-35. doi:10.1006/dbio.1998.8975.

Besbaci, M. *et al.* (2020) « Association of pregnancy per artificial insemination with gonadotropin-releasing hormone and human chorionic gonadotropin administered during the luteal phase after artificial insemination in dairy cows: A meta-analysis », *Journal of Dairy Science*, 103(2), p. 2006-2018.

doi:10.3168/jds.2019-16439.

Bicalho, R.C. *et al.* (2007) « Visual locomotion scoring in the first seventy days in milk: Impact on pregnancy and survival », *Journal of Dairy Science*, 90(10), p. 4586-4591. doi:10.3168/jds.2007-0297.

Bielmann, V. *et al.* (2010) « An evaluation of Brix refractometry instruments for measurement of colostrum quality in dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 93(8), p. 3713-3721. doi:10.3168/jds.2009-2943.

Billon, D. (Oniris N. (2015) *Simulateur ECOMAST – Présentation générale*.

Bobe, G., Young, J.W. et Beitz, D.C. (2004) « Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 87(10), p. 3105-3124. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73446-3.

Booth, C.J. *et al.* (2004) « Effect of lameness on culling in dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 87(12), p. 4115-4122. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73554-7.

BRUGEL, C. (2014) *INTERPRETATION DES REPONSES SEROLOGIQUES NON-NEGATIVES VIS-A-VIS PARATUBERCULOSIS DANS DES SITUATIONS DE FAIBLE PREVALENCE DE L ' INFECTION*.

Caillat, M. *et al.* (2025) « Analyse de sensibilité du simulateur de troupeau Dairy Health Manager (DHM) To cite this version : HAL Id : hal-05267236 ».

Camanes, G. *et al.* (2018) « Control measures to prevent the increase of paratuberculosis prevalence in dairy cattle herds: An individual-based modelling approach », *Veterinary Research*, 49(1), p. 1-13. doi:10.1186/s13567-018-0557-3.

Chanvallon, A. (Idele) *et al.* (2011) *DetŒstrus laitier : améliorer la détection des chaleurs dans les troupeaux bovins laitiers*.

Chesnin, A. et Bareille, N. (2011) « Impact de la dermatite digitée sur la production des vaches laitières », p. 106.

Clark, D.L. *et al.* (2008) « Detection of Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis: Comparing fecal culture versus serum enzyme-linked immunosorbent assay and direct fecal polymerase chain reaction », *Journal of Dairy Science*, 91(7), p. 2620-2627. doi:10.3168/jds.2007-0902.

Clark, M.A. (1993) « Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID- 19 . The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect , the company ' s public news and information », (January).

Corbett, C.S. *et al.* (2018) « Prevalence of Mycobacterium avium ssp. paratuberculosis infections in Canadian dairy herds », *Journal of Dairy Science*, 101(12), p. 11218-11228. doi:10.3168/jds.2018-14854.

Coulon, J.B., Chilliard, Y. et Rémond, B. (1991) « Effets du stade physiologique et de la saison la composition chimique du lait de vache et caractéristiques technologiques », *INRA Productions Animales*, 4(3), p. 219-228.

Croué, I. *et al.* (2017) « Genetic evaluation of claw health traits accounting for potential preselection of cows to be trimmed », *Journal of Dairy Science*, 100(10), p. 8197-8204. doi:10.3168/jds.2017-13002.

Cutler, J.H.H. *et al.* (2017) « Producer estimates of prevalence and perceived importance of lameness in dairy herds with tiestalls, freestalls, and automated milking systems », *Journal of Dairy Science*, 100(12), p. 9871-9880. doi:10.3168/jds.2017-13008.

Daros, R.R. *et al.* (2019) « Lameness during the dry period: Epidemiology and associated factors », *Journal of Dairy Science*, 102(12), p. 11414-11427. doi:10.3168/jds.2019-16741.

Dezetter, C. (2015) *Evaluation de l'intérêt du croisement entre races bovines laitières*. Thèse de doctorat.

Disenhaus, C. *et al.* (2008) « Breed comparison of post partum cyclicity in cows », in, p. 1-4.

Disenhaus, C. *et al.* (2010) « Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs : intégrer la vache , l'éleveur et le système d'élevage », *Rencontres Recherches Ruminants*, (17), p. 113-120.

Dohoo, I.R. *et al.* (1983) « Disease, production and culling in Holstein-Friesian cows I. The data », *Preventive Veterinary Medicine*, 1(4), p. 321-334. doi:10.1016/0167-5877(83)90003-X.

Van Dorp, T.E. *et al.* (1998) « Genetic Parameters of Health Disorders, and Relationships with 305-Day Milk

Yield and Conformation Traits of Registered Holstein Cows », *Journal of Dairy Science*, 81(8), p. 2264-2270. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75806-0.

Douart, A. (2015) *Pathologie médicale des Ruminants*.

van der Drift, S.G.A. *et al.* (2012) « Routine detection of hyperketonemia in dairy cows using Fourier transform infrared spectroscopy analysis of β-hydroxybutyrate and acetone in milk in combination with test-day information », *Journal of Dairy Science*, 95(9), p. 4886-4898. doi:10.3168/jds.2011-4417.

van der Drift, S.G.A. *et al.* (2015) « Effects of a single glucocorticoid injection on propylene glycol-treated cows with clinical ketosis », *Veterinary Journal*, 204(2), p. 144-149. doi:10.1016/j.tvjl.2015.01.016.

Duffield, T. (2000) « Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. », *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 16(2), p. 231-253. doi:10.1016/S0749-0720(15)30103-1.

Duffield, T.F. *et al.* (2009) « Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production », *Journal of Dairy Science*, 92(2), p. 571-580. doi:10.3168/jds.2008-1507.

Duffield, T.F., Rabiee, A.R. et Lean, I.J. (2008) « A meta-analysis of the impact of monensin in lactating dairy cattle. Part 3. Health and reproduction », *Journal of Dairy Science*, 91(6), p. 2328-2341. doi:10.3168/jds.2007-0801.

Eisenberg, S.W.F. *et al.* (2012) « Environmental contamination with Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis within and around a dairy barn under experimental conditions », *Journal of Dairy Science*, 95(11), p. 6477-6482. doi:10.3168/jds.2012-5548.

Ettema, J., Østergaard, S. et Kristensen, A.R. (2010) « Modelling the economic impact of three lameness causing diseases using herd and cow level evidence », *Preventive Veterinary Medicine*, 95(1-2), p. 64-73. doi:10.1016/j.prevetmed.2010.03.001.

Field, N.L., Mee, J.F. et McAloon, C.G. (2022) « Characteristics (sensitivity and specificity) of herd-level diagnostic tests for Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis in cattle — A systematic review », *Veterinary Journal*, 279(January), p. 105786. doi:10.1016/j.tvjl.2022.105786.

Foster, L.A. (1988) « Clinical ketosis. », *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 4(2), p. 253-267. doi:10.1016/S0749-0720(15)31047-1.

Fourichon, C., Seegers, H. et Malher, X. (2000) « Effect of disease on reproduction in the dairy cow: A meta-analysis », *Theriogenology* [Preprint]. doi:10.1016/S0093-691X(00)00311-3.

Gao, Y. *et al.* (2025) « Age-structured next generation matrix and R0 calculation for Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis (MAP) », *Infectious Disease Modelling*, 11(2), p. 560-574. doi:10.1016/j.idm.2025.12.003.

Gaude, I. *et al.* (2017) « Comparison of visual and computerized estrous detection and evaluation of influencing factors », *Animal Reproduction Science*, 184(July), p. 211-217. doi:10.1016/j.anireprosci.2017.07.019.

Germain, M.E. (2009) *La double ovulation chez la vache*.

Gernand, E. *et al.* (2012) « Incidences of and genetic parameters for mastitis, claw disorders, and common health traits recorded in dairy cattle contract herds », *Journal of Dairy Science*, 95(4), p. 2144-2156. doi:10.3168/jds.2011-4812.

Goh, N., House, J. et Rowe, S. (2024) « Retrospective cohort study investigating the relationship between diarrhea during the preweaning period and subsequent survival, health, and production in dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 107(11), p. 9752-9761. doi:10.3168/jds.2023-24544.

Gontier, P., Bareille, N. et Picault, S. (2022) « Dairy Health Manager : un simulateur multi-agents flexible pour l'étude des maladies des animaux d'élevage », in *30. Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*. Saint-Etienne, France: Cépaduès Editions (30. Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents), p. 97-106. Disponible sur: https://hal.inrae.fr/hal-03710369.

Gordon, J.L., LeBlanc, S.J. et Duffield, T.F. (2013) « Ketosis treatment in lactating dairy cattle », *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*. Elsevier, p. 433-445. doi:10.1016/j.cvfa.2013.03.001.

Green, L.E. *et al.* (2014) « Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd », *Preventive Veterinary Medicine*, 113(1), p. 63-71. doi:10.1016/j.prevetmed.2013.10.009.

Gröhn, Y.T. *et al.* (1989) « Epidemiology of Metabolic Disorders in Dairy Cattle: Association Among Host Characteristics, Disease, and Production », *Journal of Dairy Science*, 72(7), p. 1876-1885. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79306-1.

Hagen, N. (ENV T. et Gayrard, V. (ENV T. (2005) « Mémento des critères numériques de reproduction des mammifères domestiques », p. 1-9.

Han van der Kolk, J.H. *et al.* (2017) « Disturbed bovine mitochondrial lipid metabolism: A review », *Veterinary Quarterly*. Taylor and Francis Ltd., p. 262-273. doi:10.1080/01652176.2017.1354561.

Hernandez, J.A. *et al.* (2007) « Evaluation of the efficacy of prophylactic hoof health examination and trimming during midlactation in reducing the incidence of lameness during late lactation in dairy cows », *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 230(1), p. 89-93. doi:10.2460/javma.230.1.89.

Hortet, P. *et al.* (1999) « Reduction in milk yield associated with somatic cell counts up to 600 000 cells/ml in French Holstein cows without clinical mastitis », *Livestock Production Science*, 61(1), p. 33-42. doi:10.1016/S0301-6226(99)00051-2.

Hortet, P. (2000) *Evaluation ex-ante de l'efficacité économique des programmes de maîtrise des infections intramammaires en élevage bovin laitier*. Thèse de doctorat.

Humblot, P. (2001) « Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants », *Theriogenology*, 56(9), p. 1417-1433. doi:10.1016/S0093-691X(01)00644-6.

van Huyssteen, M. *et al.* (2020) « Association between lameness risk assessment and lameness and foot lesion prevalence on dairy farms in Alberta, Canada », *Journal of Dairy Science*, 103(12), p. 11750-11761. doi:10.3168/jds.2019-17819.

Institut de l'élevage (2024a) « Bilan Génétique de l'Insémination en races bovines laitières ».

Institut de l'élevage (2024b) « Résultats de Contrôle Laitier Espèce Bovine France 2024 ».

Jarrige, R. (1988) *Alimentation Des Bovins, Ovins & Caprins*. Édité par Inra. Disponible sur: http://books.google.co.ma/books?id=SQxJAAAAYAAJ.

Jørgensen, J.B. (1982) « An Improved Medium for Culture of Mycoracterium Paratuberculosis from Bovine Faeces », *Acta Veterinaria Scandinavica*, 23(3), p. 325-335. doi:10.1186/BF03546784.

Kaufman, E.I. *et al.* (2016) « Association of rumination time with subclinical ketosis in transition dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 99(7), p. 5604-5618. doi:10.3168/jds.2015-10509.

Kerbrat, S. et Disenhaus, C. (2004) « A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows », *Applied Animal Behaviour Science*, 87(3-4), p. 223-238. doi:10.1016/j.applanim.2003.12.001.

Khansefid, M., Haile-Mariam, M. et Pryce, J.E. (2021) « Including milk production, conformation, and functional traits in multivariate models for genetic evaluation of lameness », *Journal of Dairy Science*, 104(10), p. 10905-10920. doi:10.3168/jds.2020-20074.

Kirkeby, C. *et al.* (2016) « Simulating the epidemiological and economic impact of paratuberculosis control actions in dairy cattle », *Frontiers in Veterinary Science*, 3(OCT), p. 1-13. doi:10.3389/fvets.2016.00090.

Kirkeby, C., Græsbøll, K. et Halasa, T. (2018) « Evaluating the impact of transmission mode, calibration level and farmer compliance in simulation models of paratuberculosis in dairy herds », *Scientific Reports*, 8(1), p. 1-12. doi:10.1038/s41598-018-27518-7.

Klein-Jöbstl, D., Iwersen, M. et Drillich, M. (2014) « Farm characteristics and calf management practices on dairy farms with and without diarrhea: A case-control study to investigate risk factors for calf diarrhea », *Journal of Dairy Science*, 97(8), p. 5110-5119. doi:10.3168/jds.2013-7695.

Koeck, A. *et al.* (2012) « Health recording in Canadian Holsteins: Data and genetic parameters », *Journal of Dairy Science*, 95(7), p. 4099-4108. doi:10.3168/jds.2011-5127.

Koeck, A. *et al.* (2014) « Genetic relationships of clinical mastitis, cystic ovaries, and lameness with milk yield and somatic cell score in first-lactation Canadian Holsteins », *Journal of Dairy Science*, 97(9), p. 5806-5813. doi:10.3168/jds.2013-7785.

Kofler, J. *et al.* (2021) « Auswirkung von Lahmheit auf Fruchtbarkeits-merkmale bei Fleck-vieh-Kühen in Österreich – Ergebnisse aus dem Efficient-Cow-Projekt », *Schweizer Archiv fur Tierheilkunde*, 164(11), p. 721-736. doi:10.17236/sat00323.

Kohara, J. et Tsunemitsu, H. (2000) « Correlation between Maternal Serum Antibodies and Protection against Bovine Rotavirus Diarrhea in Calves », *Journal of Veterinary Medical Science*, 62(2), p. 219-221. doi:10.1292/jvms.62.219.

Kudahl, A.B. et Nielsen, S.S. (2009) « Effect of paratuberculosis on slaughter weight and slaughter value of dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 92(9), p. 4340-4346. doi:10.3168/jds.2009-2039.

L. Smith *et al.* (2016) « The effects of progressing and non-progressing Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis infection on milk production in dairy cows », *Recurrent anaphylaxis during cardiac catheterization due to ethylene oxide*, 176(1), p. 139-148. doi:10.3168/jds.2015-9822.The.

Laurin, E.L. *et al.* (2015) « The association of detection method, season, and lactation stage on identification of fecal shedding in Mycobacterium avium ssp. paratuberculosis infectious dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 98(1), p. 211-220. doi:10.3168/jds.2014-8406.

Lora, I. *et al.* (2020) « Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID- 19 . The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect , the company ' s public news and information », (January).

Lucey, P.M. *et al.* (2021) « Effects of mannan-oligosaccharide and Bacillus subtilis supplementation to preweaning Holstein dairy heifers on body weight gain, diarrhea, and shedding of fecal pathogens », *Journal of Dairy Science*, 104(4), p. 4290-4302. doi:10.3168/jds.2020-19425.

Macmillan, K. *et al.* (2017) « Accuracy of a cow-side test for the diagnosis of hyperketonemia and hypoglycemia in lactating dairy cows », *Research in Veterinary Science*, 115(November 2016), p. 327-331. doi:10.1016/j.rvsc.2017.06.019.

Magombedze, G., Eda, S. et Koets, A. (2016) « Can immune response mechanisms explain the fecal shedding patterns of cattle infected with Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis? », *PLoS ONE*, 11(1), p. 1-21. doi:10.1371/journal.pone.0146844.

Manske, T., Hultgren, J. et Bergsten, C. (2002a) « Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows », *Preventive Veterinary Medicine*, 54(3), p. 247-263. doi:10.1016/S0167-5877(02)00018-1.

Manske, T., Hultgren, J. et Bergsten, C. (2002b) « The effect of claw trimming on the hoof health of Swedish dairy cattle », *Preventive Veterinary Medicine*, 54(2), p. 113-129. doi:10.1016/S0167-5877(02)00020-X.

Marcé, C. (2010) « Thèse de doctorat ».

Marcé, C. *et al.* (2011) « Within-herd contact structure and transmission of Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis in a persistently infected dairy cattle herd », *Preventive Veterinary Medicine*, 100(2), p. 116-125. doi:10.1016/j.prevetmed.2011.02.004.

Marceau, A. *et al.* (2014) « Can routinely recorded reproductive events be used as indicators of disease emergence in dairy cattle? An evaluation of 5 indicators during the emergence of bluetongue virus in France in 2007 and 2008 », *Journal of Dairy Science*, 97(10), p. 6135-6150. doi:10.3168/jds.2013-7346.

McAloon, C.G. *et al.* (2016) « Bayesian estimation of prevalence of paratuberculosis in dairy herds enrolled in a voluntary Johne's Disease Control Programme in Ireland », *Preventive Veterinary Medicine*, 128, p. 95-100. doi:10.1016/j.prevetmed.2016.04.014.

McArt, J.A.A. *et al.* (2011) « A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis », *Journal of Dairy Science*, 94(12), p. 6011-6020. doi:10.3168/jds.2011-4463.

McArt, J.A.A., Nydam, D. V. et Oetzel, G.R. (2012a) « A field trial on the effect of propylene glycol on

displaced abomasum, removal from herd, and reproduction in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis », *Journal of Dairy Science*, 95(5), p. 2505-2512. doi:10.3168/jds.2011-4908.

McArt, J.A.A., Nydam, D. V. et Oetzel, G.R. (2012b) « Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 95(9), p. 5056-5066. doi:10.3168/jds.2012-5443.

McArt, J.A.A., Nydam, D. V. et Overton, M.W. (2015) « Hyperketonemia in early lactation dairy cattle: A deterministic estimate of component and total cost per case », *Journal of Dairy Science*, 98(3), p. 2043-2054. doi:10.3168/jds.2014-8740.

Meignan, T. (2018) *Thomas MEIGNAN, Evaluation des effets de l'utilisation de la graine de lin extrudée en élevages bovins laitiers*.

Le Mézec, P. (Idele) (2015) « Le point sur l ' utilisation de la semence sexée en 2014 Les génisses donneront des génisses ... », 2011, p. 4-7.

Morgan, W.F. et Lean, I.J. (1993) « Gonadotrophin-releasing hormone treatment in cattle: a meta-analysis of the effects on conception at the time of insemination. », *Australian veterinary journal*, 70(6), p. 205-209. doi:10.1111/j.1751-0813.1993.tb03304.x.

Mostert, P.F. *et al.* (2017) « Estimating the economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model », *Animal*, 12(1), p. 145-154. doi:10.1017/S1751731117001306.

Nennich, T.D. *et al.* (2005) « Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 88(10), p. 3721-3733. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)73058-7.

Nielsen, B.H., Thomsen, P.T. et Sørensen, J.T. (2009) « A study of duration of digital dermatitis lesions after treatment in a Danish dairy herd. », *Acta veterinaria Scandinavica*, 51, p. 27. doi:10.1186/1751-0147-51-27.

Nielsen, S.S. et Ersbøll, A.K. (2006) « Age at occurrence of Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis in naturally infected dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 89(12), p. 4557-4566. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72505-X.

Nielsen, S.S. et Toft, N. (2009) « A review of prevalences of paratuberculosis in farmed animals in Europe », *Preventive Veterinary Medicine*, 88(1), p. 1-14. doi:10.1016/j.prevetmed.2008.07.003.

O'Connor, A.H. *et al.* (2020) « Associating mobility scores with production and reproductive performance in pasture-based dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 103(10), p. 9238-9249. doi:10.3168/jds.2019-17103.

Oehm, A.W. *et al.* (2019) « A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows », *BMC Veterinary Research*, 15(1), p. 1-14. doi:10.1186/s12917-019-2095-2.

Oliveira Junior, G.A. *et al.* (2021) « Estimated genetic parameters for all genetically evaluated traits in Canadian Holsteins », *Journal of Dairy Science* [Preprint], (2019). doi:10.3168/jds.2021-20227.

Østergaard, S., Sørensen, J.T. et Houe, H. (2003) « A stochastic model simulating milk fever in a dairy herd », *Preventive Veterinary Medicine*, 58(3-4), p. 125-143. doi:10.1016/S0167-5877(03)00049-7.

Peeler, E., Otte, M. et Esslemont, R. (1994) « Inter-relationships of periparturient diseases in dairy cows », *Veterinary Record*, 134(6), p. 129-132. doi:10.1136/vr.134.6.129.

Pérez-Cabal, M.A. et Charfeddine, N. (2015) « Models for genetic evaluations of claw health traits in Spanish dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 98(11), p. 8186-8194. doi:10.3168/jds.2015-9562.

Perrin, J.B. *et al.* (2011) « Analyse de la mortalite bovine en France de 2003 a 2009 », *Productions Animales*, 24(3), p. 235-244.

Pithua, P., Wells, S.J. et Godden, S.M. (2011) « Evaluation of the association between fecal excretion of », *J Am Vet Med Assoc*, 238(1), p. 94-100.

Pritchard, T. *et al.* (2013) « Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows », *Animal*, 7(1), p. 34-46. doi:10.1017/S1751731112001401.

Pritchett, L.C. *et al.* (1994) « Evaluation of the Hydrometer for Testing Immunoglobulin G1 Concentrations in Holstein Colostrum », *Journal of Dairy Science*, 77(6), p. 1761-1767. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77117-4.

Raboisson, D. *et al.* (2015) « The economic impact of subclinical ketosis at the farm level: Tackling the challenge of over-estimation due to multiple interactions », *Preventive Veterinary Medicine*, 122(4), p. 417-425. doi:10.1016/j.prevetmed.2015.07.010.

Raboisson, D., Mounié, M. et Maigné, E. (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(12), p. 7547-7563. doi:10.3168/jds.2014-8237.

Relun, A. *et al.* (2012) « Effectiveness of different regimens of a collective topical treatment using a solution of copper and zinc chelates in the cure of digital dermatitis in dairy farms under field conditions », *Journal of Dairy Science*, 95(7), p. 3722-3735. doi:10.3168/jds.2011-4983.

Relun, A., Lehebel, A., Chesnin, A., *et al.* (2013) « Association between digital dermatitis lesions and test-day milk yield of Holstein cows from 41 French dairy farms », *Journal of Dairy Science*, 96(4), p. 2190-2200. doi:10.3168/jds.2012-5934.

Relun, A., Lehebel, A., Bruggink, M., *et al.* (2013) « Estimation of the relative impact of treatment and herd management practices on prevention of digital dermatitis in French dairy herds », *Preventive Veterinary Medicine*, 110(3-4), p. 558-562. doi:10.1016/j.prevetmed.2012.12.015.

Rémond, B., Kérouanton, J. et Brocard, V. (1997) « Effets de la réduction de la durée de la période sèche ou de son omission sur les performances des vaches laitières », *INRA Productions Animales*, 10(4), p. 301-315.

Rémond, B., Pomiès, D. et Pradel, P. (2005) « Effect of once daily milking of dairy cows on their production , according to their level of feeding », (1), p. 229-232.

Robert-Briand, A. (2006) *Infections intramammaires de la vache laitière en l'absence de traitement antibiotique systématique au tarissement*.

Roberts, T. *et al.* (2012) « Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk », *Journal of Dairy Science*, 95(6), p. 3057-3063. doi:10.3168/jds.2011-4937.

van Roermund, H.J.W. *et al.* (2007) « Horizontal transmission of Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis in cattle in an experimental setting: Calves can transmit the infection to other calves », *Veterinary Microbiology*, 122(3-4), p. 270-279. doi:10.1016/j.vetmic.2007.01.016.

Roussel, A.J. *et al.* (2005) « in Purebred Beef Cattle », *Journal of the American Veterinary Medical Association (JAVMA)*, 226(5), p. 773-778.

Rutherford, A.J., Oikonomou, G. et Smith, R.F. (2016) « The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 99(6), p. 4808-4815. doi:10.3168/jds.2015-10154.

Salvetti, P. *et al.* (2011) « FERTILIA : les clés de la réussite en première insémination chez les vaches Prim ' Holstein », *Btia*, 141, p. 34-42.

Sanchez, M.P. *et al.* (2020) « Identification of the ABCC4, IER3, and CBFA2T2 candidate genes for resistance to paratuberculosis from sequence - based GWAS in Holstein and Normande dairy cattle », *Genetics Selection Evolution*, p. 1-17. doi:10.1186/s12711-020-00535-9.

Sanchez, M.P. *et al.* (2022) « New insights into the genetic resistance to paratuberculosis in Holstein cattle via single - step genomic evaluation », *Genetics Selection Evolution*, p. 1-10. doi:10.1186/s12711-022-00757-z.

Santschi, D.E. *et al.* (2016) « Prevalence of elevated milk β-hydroxybutyrate concentrations in Holstein cows measured by Fourier-transform infrared analysis in Dairy Herd Improvement milk samples and association with milk yield and components », *Journal of Dairy Science*, 99(11), p. 9263-9270. doi:10.3168/jds.2016-11128.

Seifi, H.A. *et al.* (2007) « Effect of isoflupredone acetate with or without insulin on energy metabolism, reproduction, milk production, and health in dairy cows in early lactation », *Journal of Dairy Science*, 90(9), p. 4181-4191. doi:10.3168/jds.2006-897.

Shin, E.K. *et al.* (2015) « Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows », *Theriogenology*, 84(2), p. 252-260. doi:10.1016/j.theriogenology.2015.03.014.

Solano, L. *et al.* (2015) « Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns », *Journal of Dairy Science*, 98(10), p. 6978-6991. doi:10.3168/jds.2015-9652.

Sprecher, D.J., Hostetler, D.E. et Kaneene, J.B. (1997) « A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance », *Theriogenology*, 47(6), p. 1179-1187. doi:10.1016/S0093-691X(97)00098-8.

Suthar, V.S. *et al.* (2013) « Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows », *Journal of Dairy Science*, 96(5), p. 2925-2938. doi:10.3168/jds.2012-6035.

Svensson, C. *et al.* (2003) « Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases », *Preventive Veterinary Medicine*, 58(3-4), p. 179-197. doi:10.1016/S0167-5877(03)00046-1.

Sweeney, R.W. (1996) « Transmission of paratuberculosis. », *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 12(2), p. 305-312. doi:10.1016/S0749-0720(15)30408-4.

Sweeney, R.W. (2006) « Tissue predilection sites and effect of dose on Mycobacterium avium subs . paratuberculosis organism recovery in a short-term bovine experimental oral infection model », 80, p. 253-259. doi:10.1016/j.rvsc.2005.07.007.

Synetics (2024) « Nouvelle Résistance à la Paratuberculose - Normande ».

Tatone, E.H. *et al.* (2017) « Investigating the within-herd prevalence and risk factors for ketosis in dairy cattle in Ontario as diagnosed by the test-day concentration of β-hydroxybutyrate in milk », *Journal of Dairy Science*, 100(2), p. 1308-1318. doi:10.3168/jds.2016-11453.

Thomas, H.J. *et al.* (2015) « Evaluation of treatments for claw horn lesions in dairy cows in a randomized controlled trial », *Journal of Dairy Science*, 98(7), p. 4477-4486. doi:10.3168/jds.2014-8982.

Thomsen, P.T. (2009) « SHORT COMMUNICATIONS for lameness in dairy cows », *the Veterinary Record*, 164, p. 689-690.

Timmermans, M. *et al.* (2024) « The first commercially approved efficacious cryptosporidium vaccine protecting New-Born calves from severe diarrhea », *Veterinary Vaccine*, 3(1), p. 100054. doi:10.1016/j.vetvac.2024.100054.

Vanholder, T. *et al.* (2015) « Risk factors for subclinical and clinical ketosis and association with production parameters in dairy cows in the Netherlands », *Journal of Dairy Science*, 98(2), p. 880-888. doi:10.3168/jds.2014-8362.

Viidu, D.A. et Mõtus, K. (2022) « Implementation of a pre-calving vaccination programme against rotavirus, coronavirus and enterotoxigenic Escherichia coli (F5) and association with dairy calf survival », *BMC Veterinary Research*, 18(1), p. 1-17. doi:10.1186/s12917-022-03154-2.

Vincent, C. (2019) *UTILISATION DES OUTILS CETODETECT ® ET HERD NAVIGATOR ® EN COMBINAISON OU EN USAGE SEUL DANS LE DIAGNOSTIC DE LA CETOSE SUBCLINIQUE CHEZ LA VACHE*.

Virtala, A.-M.K. (1996) *Morbidity from nonrespiratory diseases and mortality in dairy heifers during the first three months of life*.

Walker, S.L. *et al.* (2008) « Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle », *Journal of Dairy Science*, 91(12), p. 4552-4559. doi:10.3168/jds.2008-1048.

Wells, S.J. *et al.* (1993) « Individual cow risk factors for clinical lameness in lactating dairy cows », *Preventive Veterinary Medicine*, 17(1-2), p. 95-109. doi:10.1016/0167-5877(93)90059-3.

Whay, H.R., Main, D.C.J. et Green, L.E. (2003) « measurements: direct ».

Whittington, R. *et al.* (2019) « Control of paratuberculosis: Who, why and how. A review of 48 countries », *BMC Veterinary Research*, 15(1), p. 1-29. doi:10.1186/s12917-019-1943-4.

Windsor, P.A. et Whittington, R.J. (2010) « Evidence for age susceptibility of cattle to Johne's disease », *Veterinary Journal*, 184(1), p. 37-44. doi:10.1016/j.tvjl.2009.01.007.

6 Tableaux

Tableau 1 : Races mises en œuvre 14
Tableau 2 : Formats des données typées 15
Tableau 3 : Nombre de jours entre ovulations 17
Tableau 4 : Sensibilité des détections des chaleurs en vue d'une première insémination 18
Tableau 5 : Sensibilité des détections des chaleurs en vue des inséminations suivantes 19
Tableau 6 : Valeur multiplicative augmentant la sensibilité en cas de chaleurs concomitantes 19
Tableau 7 : Probabilités de défaut de spécificité pour les génisses 20
Tableau 8 : Probabilités de défaut de spécificité pour les vaches après vêlage 20
Tableau 9 : Taux de fertilité de base (ne tenant pas compte des effets néfastes de certains facteurs) selon les modes de fécondation 21
Tableau 10 : Calcul de la valeur du facteur de fertilité lié à la production laitière au pic 22
Tableau 11 : Probabilité de mortalité embryonnaire tardive selon la race 23
Tableau 12 : Probabilité d'avortements tardifs 23
Tableau 13 : Moyenne des durées de gestation par race et parité 24
Tableau 14 : Probabilité de gestation gémellaire 24
Tableau 15 : Reprise de cyclicité post-partum selon la race et la parité 25
Tableau 16 : Valeurs par défaut du plan d'accouplements 26
Tableau 17 : Plan de traitement vétérinaire au titre du contrat reproduction 28
Tableau 18 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches primipares basées sur les vêlages 29
Tableau 19 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches multipares basées sur les vêlages 30
Tableau 20 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches nullipares basées sur les inséminations 31
Tableau 21 : Structure des données relatives aux performances de reproduction des vaches primipares et multipares basées sur les inséminations 31
Tableau 22 : Structure des données relatives aux résultats techniques liés à la reproduction 32
Tableau 23 : Valeurs de base des niveaux de concentration de cellules somatiques du lait en l'absence d'infection mammaire en fonction de la parité 34
Tableau 24 : Diviseur de la quantité de lait produite à l'âge adulte en fonction de la parité 36
Tableau 25 : Gain en TB et TP du fait de l'omission du tarissement de la lactation précédente 37
Tableau 26 : Valeur déduite de la production de lait d'une vache gestante en fonction du stade de lactation 37
Tableau 27 : Facteur multiplicateur saisonnier propre à chaque performance 38
Tableau 28 : Paramètres spécifiques à chaque parité pour l'équation de réduction de la quantité de lait liée à la CCS du lait 39
Tableau 29 : Aléa quotidien sur les performances laitières 39
Tableau 30 : Structure des données relatives aux résultats mensuels de lait livré 40
Tableau 31 : Structure des données relatives aux résultats mensuels du lait écarté 41

Tableau 32 : Structure des données relatives aux résultats de contrôles laitiers mensuels 42
Tableau 33 : Structure des données relatives aux résultats techniques de production 43
Tableau 34 : Bactéries responsables d'IIM 44
Tableau 35 : Niveaux de gravité des IIM 44
Tableau 36 : Majoration ou minoration de la gravité des IIM selon le stade et le rang de lactation 45
Tableau 37 : Répartition du risque de gravité des IIM 45
Tableau 38 : Effet de la survenue d'IIM sur la CCS du quartier 45
Tableau 39 : Conséquences des cas cliniques d'IIM sur la production laitière du quartier 46
Tableau 40 : Probabilités de perte du quartier en cas de mammite de gravité G3 46
Tableau 41 : Mortalité et risque de réforme lié à une gravité G3 47
Tableau 42 : Répartition de l'occurrence de chaque type d'IIM en fonction du stade de gestation-lactation sur une année 48
Tableau 43 : Valeurs du facteur de risque d'incidence des mammites en fonction de la production laitière de la mamelle et de la bactérie concernée 50
Tableau 44 : Risque d'IIM lié au rang de lactation 50
Tableau 45 : Risque d'IIM lié au potentiel lait 50
Tableau 46 : Valeurs du facteur de risque d'incidence des mammites en fonction du niveau préexistant de la CCS 51
Tableau 47 : Risque d'IIM lié à l'interdépendance des quartiers 51
Tableau 48 : Risque relatif de survenue d'une mammite liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie 51
Tableau 49 : Effet de contagion des IIM dans le lot 52
Tableau 50 : Taux de base de guérison spontanée d'une IIM de gravité G1 non détectée en fonction de l'agent pathogène 53
Tableau 51 : Probabilité de subsistance d'une mammite préexistante sur guérison d'une mammite occurrente postérieure 53
Tableau 52 : Récurrence clinique d'une infection subclinique persistante en fonction du type de bactérie 53
Tableau 53 : Taux de rechute en fonction du pathogène 54
Tableau 54 : Valeurs par défaut du facteur de modification de l'incidence des IIM en fonction de la saison 55
Tableau 55 : Part des types de bactéries dans l'incidence des mammites 55
Tableau 56 : Valeurs par défaut du plan de traitement des mammites en fonction de la période et de la bactérie . 56
Tableau 57 : Incidence clinique des mammites obtenue avec le contrat de soins vétérinaires en fonction de la prévention paramétrée et de l'ancienneté effective du contrat 56
Tableau 58 : Structure des données relatives aux résultats annuels des mammites cliniques 57
Tableau 59 : Niveaux de gravité de la cétose 58
Tableau 60 : Impacts de la cétose sur la fécondité 58
Tableau 61 : Effet sur la production laitière en fonction du niveau de gravité de la cétose par rapport aux vaches saines (G0) 59
Tableau 62 : Pourcentage de létalité pour un épisode de cétose en fonction de sa gravité et du rang de lactation de la vache touchée 60
Tableau 63 : Incidence de base de la cétose subclinique par race 61
Tableau 64 : Risque relatif de survenue d'une cétose en fonction du rang de lactation 62

Tableau 65 : Modulation de l'incidence de la cétose liée à la concurrence d'autres épisodes de maladie 62
Tableau 66 : Risque de cétose en fonction de l'intervalle vêlage-vêlage 63
Tableau 67 : Sensibilité et spécificité du test Cetodetect ® 64
Tableau 68 : Sensibilité et spécificité du test de sang pour le dépistage des cétoses 64
Tableau 69 : Incidence clinique des cétoses obtenue avec le contrat de soins vétérinaires en fonction de la prévention paramétrée et de l'ancienneté effective du contrat 66
Tableau 70 : Valeurs par défaut du plan de traitement de la cétose 67
Tableau 71 : Structure des données relatives aux résultats annuels des cétoses subcliniques et cliniques 68
Tableau 72 : Niveaux de gravité de la boiterie 69
Tableau 73 : Effet d'une boiterie sur la sensibilité de détection des chaleurs (Gaude *et al.*, 2017) 70
Tableau 74 : Effet sur la production laitière en fonction du niveau de gravité de la boiterie par rapport aux vaches saines (G0) 71
Tableau 75 : Réforme et mortalité liées à une boiterie 71
Tableau 76 : Incidence de référence pour les boiteries infectieuses et non infectieuses en fonction des périodes à risque 72
Tableau 77 : Risque de survenue d'une boiterie en fonction du rang de lactation 73
Tableau 78 : Risque relatif de survenue d'une boiterie liée à la concurrence d'autres maladies 73
Tableau 79 : Risque d'incidence d'une boiterie non infectieuse des vaches parées 75
Tableau 80 : Risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches parées 75
Tableau 81 : Risque d'incidence d'une boiterie infectieuse des vaches passées dans un pédiluve 75
Tableau 82 : Risque de guérison d'une boiterie infectieuse des vaches passées dans un pédiluve 76
Tableau 83 : Sensibilité de détection des vaches boiteuses 76
Tableau 84 : Guérison spontanée des boiteries de gravité G1. 77
Tableau 85 : Valeurs par défaut du plan de traitement de la boiterie 79
Tableau 86 : Structure des données relatives aux résultats annuels des boiteries 80
Tableau 87 : Agents pathogènes responsables de GENNI 81
Tableau 88 : Niveaux de gravité des GENNI 81
Tableau 89 : Répartition du risque de gravité de la première GENNI 81
Tableau 90 : Retard au premier vêlage occasionné par une GENNI 82
Tableau 91 : Effet d'une GENNI sur la mortalité de l'animal liée aux pathologies non gérées 83
Tableau 92 : Modulation de l'incidence GENNI liée à la parité de la mère 84
Tableau 93 : Effet sur l'incidence de l'échec de la prise colostrale sur l'incidence des GENNI 84
Tableau 94 : Facteurs de risque d'échec d'immunité induits par le type et la qualité de la gestion du colostrum 85
Tableau 95 : Facteurs de risque d'échec d'immunité induits par le temps passé avant la prise de colostrum et la quantité reçue 86
Tableau 96 : Facteurs de risque GENNI liés à la vaccination de la mère 86
Tableau 97 : Modulation de l'incidence GENNI liée au confort thermique du veau 86
Tableau 98 : Modulation de l'incidence GENNI liée à l'hygiène du milieu 87
Tableau 99 : Probabilité d'aggravation d'une GENNI G1 non détectée en G2 88
Tableau 100 : Paramétrage de la part des pathogènes dans l'incidence 89

Tableau 101 : Décompte des activités de l'éleveur relatives à la vaccination GENNI des futures mères et coût engendré 90
Tableau 102 : Valeurs par défaut du plan de traitement des GENNI, cas général 91
Tableau 103 : Efficacité du traitement prodigués par l'éleveur aux mâles en cas de gravité G2 91
Tableau 104 : Structure des données relatives à l'état quotidien de GENNI des veaux 91
Tableau 105 : Définition des stades d'infection de la paratuberculose 92
Tableau 106 : Diminution de la production laitière en fonction du stade d'infection paratuberculose 93
Tableau 107 : Niveau d'excrétion de MAP dépendant du stade de la maladie 95
Tableau 108 : Classification des individus en fonction de leur niveau d'excrétion 95
Tableau 109 : Caractéristiques du test ELISA 98
Tableau 110 : Structure des données relatives aux résultats techniques de santé 105
Tableau 111 : Paramètres communs des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques 106
Tableau 112 : Corrélation génétique ρ entre chaque trait phénotypique 106
Tableau 113 : Paramètres race dépendants des valeurs génétiques associées aux traits phénotypiques 107
Tableau 114 : Equations de calcul des potentiels individuels P_i pour les index exprimés sous forme d'écart génétique, X étant la performance pour une valeur de l'écart type génétique définie à 3 pour le sens croissant et à -3 pour le sens décroissant 108
Tableau 115 : Valeurs des performances individuelles pour les index Fer, BHBlait, MACL, RBi et RBni exprimés sous la forme d'un écart type 108
Tableau 116 : Progrès génétique annuel de la population en fonction des races laitières pour chaque trait phénotypique 109
Tableau 117 : Valeurs par défaut des index génétiques des taureaux 111
Tableau 118 : Structure des données relatives aux résultats génétiques 111
Tableau 119 : Seuil de rentabilité de la production en fonction du niveau du troupeau 113
Tableau 120 : Risque de mortalité des individus 114
Tableau 121 : Calendrier par défaut de mise au pâturage selon pour les lots génisses de moins de 20 mois, autres génisses, vaches taries et péri-partum 117
Tableau 122 : Calendrier par défaut du pâturage et de la stabulation pour le lot des vaches en lactation 117
Tableau 123 : Consommation de paille par défaut pour les aires paillées (kg/j) 118
Tableau 124 : Structure des données relatives aux résultats annuels de gestion de la population du troupeau 119
Tableau 125 : Quantité de fèces produite par jour et par animal en fonction de sa situation 120
Tableau 126 : Valeurs par défaut de l'alimentation quotidienne des veaux femelles sevrés. 121
Tableau 127 : Valeurs par défaut de l'alimentation des génisses en fonction de leur âge et de leur lieu de vie. 122
Tableau 128 : Valeurs par défaut pour l'alimentation des vaches en lactation en fonction des périodes stabulation/pâturage. 122
Tableau 129 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des veaux en lait 123
Tableau 130 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des veaux préparés au sevrage et des génisses en fourrage et en concentré 123
Tableau 131 : Structure des données relatives aux résultats de consommation des vaches en fourrage et en concentré 124
Tableau 132 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la reproduction 125
Tableau 133 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la production 125

Tableau 134 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la santé 129
Tableau 135 : Tarifs par défaut des opérations comptables liées à la génétique 129
Tableau 136 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à la gestion de la population 129
Tableau 137 : Tarifs par défaut des opérations comptables liés à l'alimentation 129
Tableau 138 : Tarifs par défaut des opérations comptables diverses 130
Tableau 139 : Tarif forfaitaire et fréquence des coûts non décrits 130
Tableau 140 : Structure des données relatives au bilan économique exprimées en euros 131
Tableau 141 : Clés et valeurs de la commande de création d'un élevage 134
Tableau 142 : Clés et valeurs de la commande de renommage d'un élevage 134
Tableau 143 : Clé et valeur de la commande d'obtention de la liste des élevages 134
Tableau 144 : Clés et valeurs de la commande de récupération des paramètres d'un élevage 135
Tableau 145 : Clés et valeurs de la commande de modification d'un paramètre d'élevage 135
Tableau 146 : Clés et valeurs de la commande de duplication d'un élevage 136
Tableau 147 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'un élevage 136
Tableau 148 : Clés et valeurs de la commande de création d'un protocole 136
Tableau 149 : Clés et valeurs de la commande de renommage d'un protocole 137
Tableau 150 : Clé et valeur de la commande d'obtention de la liste des protocoles 137
Tableau 151 : Clés et valeurs de la commande de récupération des paramètres d'un protocole 137
Tableau 152 : Clés et valeurs de la commande de modification d'un paramètre de protocole 138
Tableau 153 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'un protocole 138
Tableau 154 : Clés et valeurs de la commande d'ajout (ou de remplacement) d'une liste de valeurs de paramètre à croiser 138
Tableau 155 : Clés et valeurs de la commande de suppression d'une liste de valeurs de paramètre à croiser 139
Tableau 156 : Commande de modification (ou de remplacement) du nom d'entête de chacun des discriminants 139
Tableau 157 : Commande d'obtention du nom d'entête des discriminants 139
Tableau 158 : Clé de la commande de récupération des valeurs de référence de paramètres 139
Tableau 159 : Clé de la commande de restauration d'anciennes valeurs 140
Tableau 160 : Clé et valeur de la commande de lancement de la simulation 140
Tableau 161 : Clé et valeur de la commande d'obtention des derniers résultats synthétisés 141
Tableau 162 : Clé et valeur de la commande d'obtention des derniers résultats bruts 141
Tableau 163 : Tableau des codes de retour de l'API 142
Tableau 164 : Structure des champs définissant le cadre de la simulation 150
Tableau 165 : Structure des données techniques 151
Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages 174
Tableau 167 : Clés des paramètres du modèle comptable 177

7 Figures

Figure 1 : Processus biologiques et décisions de l'éleveur représentés dans le simulateur 13
Figure 2 : Schéma de l'organisation en modules et représentation des interactions 16
Figure 3 : Etapes de reproduction 17
Figure 4 : Périodes à risque d'interruption des gestations 23
Figure 5 : Moment de la reprise de cyclicité après mortalité de l'embryon ou du fœtus 25
Figure 6 : Etapes d'initiation et de fin de lactation 33
Figure 7 : Courbes de production laitière journalière pour la race Montbéliarde 34
Figure 8 : Courbes de production laitière journalière pour la race Normande 34
Figure 9 : Courbes de production laitière journalière pour la race Prim'Holstein 34
Figure 10 : Courbes de Wood de la CCS de la mamelle en l'absence d'infection mammaire 35
Figure 11 : Effet de la diminution de la production laitière à la lactation suivante du fait de la réduction de la période sèche 36
Figure 12 : Effet spécifique du mois de l'année sur la production laitière de la vache 38
Figure 13 : Modèle épidémiologique des IIM 47
Figure 14 : Enchaînement et durée de référence des périodes (re)productives à risque d'IIM 48
Figure 15 : Répartition de l'occurrence de chaque type d'IIM en fonction du stade de gestation-lactation 49
Figure 16 : Facteur de risque d'incidence des mammites en fonction de la production laitière 49
Figure 17 : Dynamique d'évolution des IIM 52
Figure 18 : Répartition des pertes de quantité de lait (Kg) sur 55 jours pour une vache produisant 10000 kg de lait au cours d'une lactation 305 jours 60
Figure 19: Courbe d'incidence de la cétose subclinique en fonction du stade de lactation 61
Figure 20 : Dynamique d'évolution des cétoses 64
Figure 21 : Courbe du risque quotidien de base pour l'incidence de boiterie, à partir du vêlage et pour une lactation à 305 jours 72
Figure 22 : Risque de devenir boiteux d'une maladie infectieuse en fonction de la prévalence du lot 74
Figure 23 : Risque de devenir boiteux d'une maladie infectieuse en restant une certaine durée dans un bâtiment 74
Figure 24 : Dynamique d'évolution des boiteries 77
Figure 25 : Modèle épidémiologique des GENNI 83
Figure 26 : Périodes à risque pour les GENNI 84
Figure 27 : Loi bêta de distribution des durées de GENNI 88
Figure 28 : Etats et transitions du modèle épidémiologique de la paratuberculose 99
Figure 29 : Coefficient à appliquer à la performance des index Fer, BHBlait, MACL, RBi et RBni pour tenir compte de la valeur génétique vraie 108
Figure 30 : Dynamique d'affectation dans les lots des animaux de l'exploitation 115
Figure 31 : Création d'un élevage dans l'application WEB 143
Figure 32 : Nom et description d'un élevage dans l'application WEB 143
Figure 33 : Modification d'un paramètre d'élevage dans l'application WEB 143
Figure 34 : Création d'un protocole simple dans l'application WEB 144

Figure 35 : Paramétrage d'un protocole simple dans l'application WEB 144
Figure 36 : Discriminants d'un protocole croisé dans l'application WEB 144
Figure 37 : Lancement de la simulation dans l'application WEB 145
Figure 38 : Résultats techniques et sanitaires de simulation dans l'application WEB 145
Figure 39 : Résultats comptables de simulation dans l'application WEB 146
Figure 40 : Téléchargement des données brutes de la dernière simulation dans l'application WEB 146
Figure 41 : Interface de gestion des utilisateurs dans l'application WEB 147
Figure 42 : Octroi des modules pour les utilisateurs dans l'application WEB 147
Figure 43 : Comparaison technique de deux scénarios avec l'emploi du packages R 150
Figure 44 : Comparaison comptable de deux scénarios avec l'emploi du packages R 150

Annexe I : Liste des clés et formats des paramètres de conduite d'élevage

Les clés utilisées dans le fichier de paramètre de conduite doivent impérativement figurer parmi celles du tableau suivant :

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
Général	"comment"	Chaîne de caractères	Commentaire libre pour décrire l'élevage paramétré
Reproduction (*cf.* § *2.2.1.2*)	"ageToBreedingDecision"	Valeur entière	§ *2.2.1.2.1 Age de mise à la reproduction*
	"detectionMode"	0 = détecteur 1 = robot 2 = éleveur 3 = taureau	§ *2.2.1.2.2 Modes de détection des chaleurs*
	"slipperyFloor"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.1.2.3 Sol glissant*
	"matingPlan_TypeInseminationSemen_<*iaNumber*>_<*h/a*>" <*iaNumber*> = "firstIA", "IA2and3" et "IA4andOver" <*h/a*> = "heifer" et "adult" (6 valeurs au total)	Type d'insémination (*)	§ *2.2.1.2.4 Plan d'accouplements*
	"matingPlan_TypeInseminationRatio_<*iaNumber*>_<*h/a*>" <*iaNumber*> = "firstIA", "IA2and3" et "IA4andOver" <*h/a*> = "heifer" et "adult" (6 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"matingPlan_BreedInseminationSemen_<*iaNumber*>_<*h/a*>" <*iaNumber*> = "firstIA", "IA2and3" et "IA4andOver" <*h/a*> = "heifer" et "adult" (6 valeurs au total)	Race (*)	
	"matingPlan_BreedInseminationRatio_<*iaNumber*>_<*h/a*>" <*iaNumber*> = "firstIA", "IA2and3" et "IA4andOver" <*h/a*> = "heifer" et "adult" (6 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"matingPlan_<*f/l*>ExcludedMonthForHeiferCalving" <*f/l*> = "First" et "Last" (2 valeurs au total)	Valeur entière du mois inclus concerné (0 = pas de regroupement)	§ *2.2.1.2.5 Vêlages groupés*
	"fertilityFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.1.2.6 Facteur de fertilité propre au troupeau*
	"breedingDelayAfterCalvingDecision"	Valeur entière	§ *2.2.1.2.7 Délai post-partum minimum avant la remise à la reproduction (période d'attente)*
	"numberOfDaysAfterHeiferBreedingDecisionForStopFirstInseminationDecision"	Valeur entière	§ *2.2.1.2.8 Décision individuelle d'abandon des inséminations liée à l'infertilité des génisses et des vaches*
	"numberOfDaysAfterHeiferBreedingDecisionForStopInseminationDecision"		
	"numberOfDaysAfterAdultBreedingDecisionForStopFirstInseminationDecision"		
	"numberOfDaysAfterAdultBreedingDecisionForStopInseminationDecision"		
	"vetReproductionContract"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.1.2.9 Contrat Reproduction*
	"reproductionTreatmentPlan_<No/Too/Negative>_name" <No/Too/Negative> = "No_oestrus_detected_after_calving", "Too_much_unsuccessful_inseminations" et "Negative_pregnancy_diagnostic" (3 valeurs au total)	Chaîne de caractères	
	"reproductionTreatmentPlan_<No/Too/Negative>_effectDelay" <No/Too/Negative> = "No_oestrus_detected_after_calving", "Too_much_unsuccessful_inseminations" et "Negative_pregnancy_diagnostic" (3 valeurs au total)	Valeur entière	
	"reproductionTreatmentPlan_<No/Too/Negative>_successProbability" <No/Too/Negative> = "No_oestrus_detected_after_calving", "Too_much_unsuccessful_inseminations" et "Negative_pregnancy_diagnostic" (3 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"reproductionTreatmentPlan_Too_much_unsuccessful_inseminations_fertilityDelta"	Valeur décimale de 0 à 1	
Lactation (*cf.* § *2.2.2.2*)	"driedPeriodDuration"	Valeur entière	§ *2.2.2.2.1 Tarissement*
	"milkingFrequency"	0 = une traite/jour 1 = deux traites/jour 2 = plus de deux traites/jour	§ *2.2.2.2.2 Fréquence de traite*
	"dayBeforeDeliverMilk"	Valeur entière	§ *2.2.2.2.3 Stade de lactation minimum pour le lait livré*
	herdProductionDelta_<*char*> <*char*> = "Lait", "TB" et "TP" (3 valeurs au total)	Valeur décimale centrée sur 0	§ *2.2.2.2.4 Niveau de production du troupeau*

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
Santé : Infection Intra-Mammaire (IIM) (*cf.* § *2.2.3.1.2*)	"G1MastitisDetectionSensibility"	Valeur décimale de 0 à 1	§ *2.2.3.1.2.1 Sensibilité de détection des mammites cliniques de faible gravité*
	"mastitisSaisonalityProbabilityFactor_<*bacterium*>_<*month*>" <*bacterium*> = "StaphA", "StreptU", "Gn", "CNS" et "CB" <*month*> = "jan", "feb", "mar", "apr", "may", "jun", "jul", "aug", "sep", "oct", "nov" et "dec" (60 valeurs au total)	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.1.2.2 Impact saisonnier sur l'incidence des IIM*
	"mastitisBacteriumIncidencePart<*bacterium*>" <*bacterium*> = "StaphA", "StreptU", "Gn", "CNS" et "CB" (5 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	§ *2.2.3.1.2.3 Part du type de bactérie dans l'incidence*
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_name" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" (2 valeurs au total)	Chaîne de caractères	§ *2.2.3.1.2.4 Plan de traitement*
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_effectDelay" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" (2 valeurs au total)	Valeur entière	
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_milkWaitTime" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" (2 valeurs au total)	Valeur entière	
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_healingProbability_<*bacterium*>" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" <*bacterium*> = "StaphA", "StreptU", "Gn", "CNS" et "CB" (10 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_protectProbability_<*bacterium*>" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" <*bacterium*> = "StaphA", "StreptU", "Gn", "CNS" et "CB" (10 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"mastitisTreatmentPlan_<*stage*>_protectDuration_<*bacterium*>" <*stage*> = "Lactation" et "Dry" <*bacterium*> = "StaphA", "StreptU", "Gn", "CNS" et "CB" (10 valeurs au total)	Valeur entière	
	"individualMastitisIncidencePreventionFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.1.2.5 Facteur de prévention des mammites au niveau de la vache*
	"herdMastitisIncidencePreventionFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.1.2.6 Facteur de prévention des mammites au niveau du troupeau*
	"vetCareContract"	0 = pas de contrat de soins vétérinaires 1 = contrat facturé à la vache 2 = contrat facturé au vêlage 3 = contrat facturé à la production laitière	§ *2.2.3.1.2.7* Option contrat de soins vétérinaires
Santé : Cétose (ou acétonémie) (*cf.* § *2.2.3.2.2*)	"ketosisIncidencePreventionFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.2.2.1 Facteurs de prévention*
	"monensinBolusUsage"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.3.2.2.1.2 Prévention par l'utilisation de bolus intra-ruminaux à base de monensin (Kexxtone®)*
	"cetoDetectUsage"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.3.2.2.2.1 Option Cetodetect ® du contrôle laitier*
	"herdNavigatorOption"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.3.2.2.2.2 Option Herd Navigator ® du robot de traite*
	"ketosisTreatmentPlan_<*severity*>_name" <*severity*> = "G1" et "G2" (2 valeurs au total)	Chaîne de caractères	§ *2.2.3.2.2.3 Plan de traitement*
	"ketosisTreatmentPlan_<*severity*>_effectDelay" <*severity*> = "G1" et "G2" (2 valeurs au total)	Valeur entière	
	"ketosisTreatmentPlan_<*severity*>_milkWaitTime" <*severity*> = "G1" et "G2" (2 valeurs au total)	Valeur entière	
	"ketosisTreatmentPlan_<*severity*>_healingProbability" <*severity*> = "G1" et "G2" (2 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"ketosisTreatmentPlan_G1_flareupRisk"	Valeur décimale de 0 à 1	
	"ketosisTreatmentPlan_G1_firstIASuccessRisk"	Valeur décimale de 0 à 1	
Santé : Boiterie (*cf.* § *2.2.3.3*)	"lamenessNonInfectiousIncidencePreventionFactor" "lamenessInfectiousIncidencePreventionFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.3.2.1.1 Facteurs globaux de prévention*
	"footBathOption"	Vrai (1) ou faux (0)	§ *2.2.3.3.2.1.2 Option de prévention des boiteries infectieuses par l'utilisation du pédiluve*
	"footBathEffectDuration"	Valeur entière	
	"footBathStabulationFrequency" "footBathFullPastureFrequency" "footBathHalfStabulationPastureFrequency"	Valeur entière	§ *2.2.3.3.2.1.3 Option de fréquence d'utilisation du pédiluve*

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
	"preventiveTrimmingOption"	0 = pas de parage 1 = 1 parage par an 2 = 2 parages par an 3 = parage par petits groupes	§ *2.2.3.3.2.1.4 Option de prévention des boiteries infectieuses et non infectieuses par le parage*
	"lamenessDetectionMode"	0 = capteur embarqué 1 = éleveur peu sensible 2 = éleveur sensible	§ *2.2.3.3.2.2 Options de détection*
	"cowNumberForSmallTrimmingOrCareGroup"	Valeur entière	§ *2.2.3.3.2.3 Regroupement des parages et des cas individuels de boiterie à traiter*
	"lamenessTreatmentPlan_*<severity>*_*<infectious type>*_name" *<severity>* = "G1" et "G2" *<infectious type>* = "non_infectious" et "infectious" (4 valeurs au total)	Chaîne de caractères	§ *2.2.3.3.2.4 Plan de traitement*
	"lamenessTreatmentPlan_*<severity>*_*<infectious type>*_*<limit>*_effectDelay" *<severity>* = "G1" et "G2" *<infectious type>* = "non_infectious" et "infectious" *<limit>* = "min" et "max" (8 valeurs au total)	Valeur entière	
	"lamenessTreatmentPlan_*<severity>*_*<infectious type>*_milkWaitTime" *<severity>* = "G1" et "G2" *<infectious type>* = "non_infectious" et "infectious" (4 valeurs au total)	Valeur entière	
	"lamenessTreatmentPlan_*<severity>*_*<infectious type>*_healingProbability_*<number>*" *<severity>* = "G1" et "G2" *<infectious type>* = "non_infectious" et "infectious" *<number>* = "1" et "2" (8 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
Santé : Genni (*cf.* § *2.2.3.4*)	"genniDetectionSensitivity"	Valeur entière	§ *2.2.3.4.2.1 Sensibilité de la détection des GENNI de faible gravité*
	"genniIncidencePathogenPart"	0 = profil moyen 1 = profil ETEC 2 = profil Crypto 3 = profil Rota	§ *2.2.3.4.2.2 Part du type de chaque type d'agents pathogènes dans l'incidence*
	"colostrumAndManagementQualityControl"	0 = pas de contrôle qualité 1 = pèse colostrum mal géré 2 = pèse colostrum bien géré 3 = réfractomètre mal géré 4 = réfractomètre bien géré	§ *2.2.3.4.2.3* Contrôle de la qualité du colostrum et de la gestion de la colostrothèque
	"colostrumTimeSpentQuantityReceived"	0 = sous la mère 2 = inférieur à 4 heures, moins de 4 l 3 = inférieur à 4 heures, plus de 4 l 4 = supérieur à 4 heures, moins de 4 l 5 = supérieur à 4 heures, plus de 4 l	§ *2.2.3.4.2.4* Temps passé pour le colostrum et quantité reçue
	"calveReceivingColostrumProportion"	Valeur entière de 0 à 100	§ *2.2.3.4.2.5 Proportion de veaux recevant du colostrum*
	"damGenniVaccinationModality"	0 = aucune vaccination 1 = vaccination sur examen complémentaire 2 = vaccination systématique	§ *2.2.3.4.2.6 Vaccination des vaches gestantes*
	"damGenniVaccinationPathogenTarget "	0 = ETEC + Rota + Corona 1 = Crypto 2 = tous pathogènes	
	"calveCagePosition"	0 = intérieur 1 = extérieur	§ *2.2.3.4.2.7 Position de la case*
	"hygieneScore"	0 = niveau 1 très faible 1 = niveau 2 faible 2 = niveau 3 moyen 3 = niveau 4 bon 4 = niveau 5 très bon	§ *2.2.3.4.2.8 Score d'hygiène*

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
	"genniFurtherVetExamination"	0 = examen systématique 1 = examen sur nombreux cas 2 = pas d'examens	§ *2.2.3.4.2.9 Plan de traitement*
	"genniCaseNumberForFurtherVetExamination"	Valeur entière	
	"genniG2MaleTreatmentByFarmer"	Vrai (1) ou faux (0)	
	"genni<*target*>TreatmentPlan_<*severity*>_<*pathogen*>_name" <*target*> = "Targeted" et "NonTargeted" <*severity*> = "G1" et "G2" <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" *et* "Corona" (16 valeurs au total)	Chaîne de caractères	
	"genni<*target*>TreatmentPlan_<*severity*>_<*pathogen*>_effectDelay" <*target*> = "Targeted" et "NonTargeted" <*severity*> = "G1" et "G2" <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" *et* "Corona" (16 valeurs au total)	Valeur entière	
	"genni<*target*>TreatmentPlan_<*severity*>_<*pathogen*>_healingProbability" <*target*> = "Targeted" et "NonTargeted" <*severity*> = "G1" et "G2" <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" et "Corona" (16 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"genniTreatmentPlanG2MaleFarmer_<*pathogen*>_name" <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" *et* "Corona" (4 valeurs au total)	Chaîne de caractères	
	"genniTreatmentPlanG2MaleFarmer_<*pathogen*>_effectDelay " <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" *et* "Corona" (4 valeurs au total)	Valeur entière	
	"genniTreatmentPlanG2MaleFarmer_<*pathogen*>_healingProbability" <*pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" *et* "Corona" (4 valeurs au total)	Valeur décimale de 0 à 1	
	"genniIncidencePreventionFactor"	Valeur décimale centrée sur 1	§ *2.2.3.4.2.10 Facteur global de prévention des GENNI*
Santé : Paratuberculose (cf. § 2.2.3.5)	"caseNumberOfParatuberculosis"	Valeur entière	§ *2.2.3.5.2.1 Apparition de cas de paratuberculose*
	"PTBtestStrategy"	0 = tests sur vaches cliniques 1 = tests réguliers 2 = test réguliers espacés	§ *2.2.3.5.2.4 Stratégie de test*
Génétique (*cf.* § *2.2.4.2*)	"male_genetic_catalog_<strategy>_<breed>_<index>" <strategy> = "well_balanced", "milk_priority", "longevity_priority" *et* "PTB" <breed> = "montbeliarde", "normande" *et* "holstein" <index> = "lgf", "lait", "tb", "tp", "fer", "macl", "bhb", "rbi", "rnbi" *et* "rptb" (120 valeurs au total)	Valeur décimale	§ *2.2.4.2.1 Caractéristiques des taureaux laitiers en vue de la constitution du catalogue pour les inséminations et saillies*
	"geneticStrategy"	0 = équilibre 1 = priorité à la quantité de lait 2 = priorité à la longévité fonctionnelle 3 = priorité à la résistance PTB	§ *2.2.4.2.2 Stratégie génétique*
Gestion de la population et des lots (*cf.* § *2.2.5.2*)	"initialBreed"	Race (*)	§ *2.2.5.2.1.1 Race initiale des vaches*, (utilisée également par défaut lors des inséminations, cf. § *2.2.1.2.4*)
	"meanAdultNumberTarget"	Valeur entière	§ *2.2.5.2.1.2 Nombre moyen de vaches adultes*
	"initialAnnualHerdRenewablePart"	Valeur décimale	§ *2.2.5.2.1.3 Taux de renouvellement annuel du troupeau*
	"annualHerdRenewableDelta"	Valeur décimale	
	"femaleCalveManagement"	0 = garder tout 1 = garder pour renouvellement 2 = vendre tout	§ *2.2.5.2.1.4 Stratégie de gestion des veaux femelles*
	"maxLactationRankForEndInseminationDecision"	Valeur entière	§ *2.2.5.2.1.5 Lactation maximale*
	"minMilkProductionHerdRatioForEndInseminationDecision"	Valeur décimale	§ *2.2.5.2.1.6 Performance de production de la vache par rapport à celle du troupeau*
	"maxSCCLevelForEndInseminationDecision"	Valeur entière	§ *2.2.5.2.1.7 Seuil de CCS*
	"minimumMilkQuantityFactorForRentability"	Valeur décimale	§ *2.2.5.2.1.8 Seuil de rentabilité de la production laitière*
	"youngHeifer<*b*/*e*>PastureDate_<*d*/*m*>" <*b*/*e*> = "Begin" et "End" <*d*/*m*> = "day" et "month" (4 valeurs au total)	Valeur entière	§ *2.2.5.2.2.1 Stabulation et pâturage*

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
	"otherHeiferAndDriedCow<*b/e*>PastureDate_<*d/m*>" <*b/e*> = "Begin" et "End" <*d/m*> = "day" et "month" (4 valeurs au total)	Valeur entière	
	"lactatingCow<*b/e*><*p/s*>Date_<*d/m*>" <*b/e*> = "Begin" et "End" <*p/s*> = "FullPasture" et "Stabulation" <*d/m*> = "day" et "month" (8 valeurs au total)	Valeur entière	
	"<*c/h/a*>StrawConsumption" <*c/h/a*> = "calf", "heifer" et "adult" (3 valeurs au total)	Valeur décimale	§ *2.2.5.2.2.2 Aire paillée*
Alimentation (*cf.* § *2.2.6.2*)	"calfMilkQuantity"	Valeur décimale	§ *2.2.6.2.1.1 Alimentation des veaux non sevrés*
	"calfMilkType"	0 = lait naturel 1 = lait écarté puis naturel 2 = lait écarté puis déshydraté 3 = lait déshydraté	
	"weaningAge"	Valeur entière	
	"unweanedFemaleCalfConcentrateMixture_<*q/t*>" <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley" (4 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"weanedFemaleCalf<*f/c*>Mixture_<*q/t*>" <*f/c*> = "Forage" et "Concentrate" Si <*f/c*> = "Forage" : <*q/t*> = "quantity", "type_maizePlant", "type_grass", "type_hay" et "type_grass_silage" Si <*f/c*> = "Concentrate" : <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley" (9 valeurs au total)	Valeur décimale	§ *2.2.6.2.1.2 Alimentation des veaux femelles sevrés*
	"youngUnbredHeifer<*f/c*>Mixture_<*s/p*>_<*q/t*>" <*f/c*> = "Forage" et "Concentrate" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" Si <*f/c*> = "Forage" : <*q/t*> = "quantity", "type_maizePlant", "type_grass", "type_hay" et "type_grass_silage" Si <*f/c*> = "Concentrate" : <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley" (18 valeurs au total)	Valeur décimale	§ *2.2.6.2.1.3 Alimentation des génisses*
	"youngUnbredHeiferMineralVitamins_<*s/p*>" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" (2 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"oldUnbredHeifer<*f/c*>Mixture_<*s/p*>_<*q/t*>" <*f/c*> = "Forage" et "Concentrate" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" Si <*f/c*> = "Forage" : <*q/t*> = "quantity", "type_maizePlant", "type_grass", "type_hay" et "type_grass_silage" Si <*f/c*> = "Concentrate" : <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley" (18 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"oldUnbredHeiferMineralVitamins_<*s/p*>" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" (2 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"bredHeifer<*f/c*>Mixture_<*s/p*>_<*q/t*>" <*f/c*> = "Forage" et "Concentrate" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" Si <*f/c*> = "Forage" : <*q/t*> = "quantity", "type_maizePlant", "type_grass", "type_hay" et "type_grass_silage" Si <*f/c*> = "Concentrate" : <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley" (18 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"bredHeiferMineralVitamins_<*s/p*>" <*s/p*>= "stabulation" et "pasture" (2 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"RBE_MilkProduction"	Valeur décimale	§ *2.2.6.2.1.4 Alimentation des vaches en pleine lactation*
	"lactation<*f/c*>Mixture_<*s/p/h*>_<*q/t*> " <*f/c*> = "Forage" et "Concentrate" Si <*f/c*> = "Forage" : <*q/t*> = "quantity", "type_maizePlant", "type_grass", "type_hay" et "type_grass_silage" Si <*f/c*> = "Concentrate" : <*q/t*> = "quantity", "type_rapeseed", "type_soja" et "type_barley"	Valeur décimale	

Module	Clé du paramètre	Format de la valeur associée	Description
	(27 valeurs au total)		
	"lactationPeriodMineralVitamins_<*s/p/h*> <*s/p/h*> = "stabulation", "pasture" et "halfStabulationPasture" (3 valeurs au total)	Valeur décimale	
	"gainForOneConcentrateKilo"	Valeur décimale	§ *2.2.6.2.2 Rations de concentré de production*
	"productConcentrateMixture_type_<*type*>" <*type*> = "rapeseed", "soja" et "barley" (3 valeurs au total)	Valeur décimale	

Tableau 166 : Clés et formats des paramètres de conduite d'élevages

(*) Enumération décrite dans le *Tableau 2 : Formats des données typées*.

Les paramètres qui ne seront pas définis dans le fichier seront appliqués avec la valeur par défaut indiquée dans la partie « Paramètres de conduite d'élevage » de chacun des modules décrits dans le chapitre *2.2 Modules*.

Annexe II : Liste des clés de paramètres du modèle comptable

Les clés utilisées dans le fichier de paramètre du modèle comptable doivent impérativement figurer parmi celles du tableau suivant :

Clé du paramètre	Description
"femaleDairyCalfPrice"	Vente d'un veau femelle de race laitière
"maleDairyCalfPrice"	Vente d'un veau mâle de race laitière
"femaleBeefBredCalfPrice"	Vente d'un veau femelle croisé de race allaitante
"maleBeefBredCalfPrice"	Vente d'un veau mâle croisé de race allaitante
"underOneYearCalfPrice"	Vente d'une génisse vivante âgée jusqu'à 1 an
"underTwoYearCalfPrice"	Vente d'une génisse vivante âgée de plus d'un an
"pregnantHeiferPrice"	Vente d'une génisse amouillante
"culledCowPrice"	Vente d'une vache réformée
"underOneYearDeathCalfPrice"	Equarrissage d'une génisse morte âgée jusqu'à 1 an
"underTwoYearDeathCalfPrice"	Equarrissage d'une génisse morte âgée entre 1 et 2 ans
"deathCowPrice"	Equarrissage d'une vache morte
"calfBirthPrice"	Acte vétérinaire de vêlage
"naturalInseminationPrice"	Insémination par saillie
"conventionalArtificialInseminationPrice"	Insémination artificielle conventionnelle
"maleSexedArtificialInseminationPrice"	Insémination artificielle sexée mâle
"femaleSexedArtificialInseminationPrice"	Insémination artificielle sexée femelle
"vetReproductionContractPrice"	Prix annuel par vache adulte du contrat de reproduction vétérinaire
"vetNoOestrusSeenTreatmentPrice"	Traitement pour réapparition des chaleurs
"vetUnsuccessfulIATreatmentPrice"	Traitement contre succession d'inséminations non fécondantes
"vetNegativePregnancyTreatmentPrice"	Traitement suite à un diagnostic de gestation négatif
"milkTonPrice"	Vente d'une tonne de lait de base (hors critères de qualité, sans pénalités)
"milkControlPrice"	Contrôle laitier mensuel (par vache et par an)
"level1SCCPenaltyPrice"	Pénalité 1er seuil (pour 1 tonne)
"level2SCCPenaltyPrice"	Pénalité 2ème seuil (pour 1 tonne)
"level3SCCPenaltyPrice"	Pénalité 3ème seuil (pour 1 tonne)
"TBQualityBonusPrice"	Bonus qualité TB (pour 1 tonne)
"TPQualityBonusPrice"	Bonus qualité TP (pour 1 tonne)
"vetCareContractBasedOnCowPrice"	Prix annuel par vache adulte du contrat de santé vétérinaire
"vetCareContractBasedOnCavingPrice"	Prix annuel par vêlage du contrat de santé vétérinaire
"vetCareContractBasedOnKiloliterPrice"	Prix annuel par kilolitre produit du contrat de santé vétérinaire
"G1mastitisLactationWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G1 en lactation sans forfait vétérinaire
"G1mastitisLactationWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G1 en lactation avec forfait vétérinaire
"G2mastitisLactationWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G2 en lactation sans forfait vétérinaire
"G2mastitisLactationWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G2 en lactation avec forfait vétérinaire
"G3mastitisG3LactationWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G3 en lactation sans forfait vétérinaire
"G3mastitisG3LactationWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite G3 en lactation avec forfait vétérinaire
"mastitisDryWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite clinique de vaches taries sans forfait vétérinaire
"mastitisDryWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour mammite clinique de vaches taries avec forfait vétérinaire
"mastitisPreventiveActionsPrice"	Cout annuel / vache de la prévention mammites
"monensinBolusPrice"	Coût d'un bolus de monensin
"cetoDetectPrice"	Test contrôle laitier Cetodetect ® (par vache et par an)
"herdNavigatorPrice"	Option Herd navigator (par vache et par an)
"G1ketosisWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour une cétose de gravité G1 sans forfait vétérinaire
"G1ketosisWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour une cétose de gravité G1 avec forfait vétérinaire
"G2ketosisWithoutContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour une cétose De gravité G2 sans forfait vétérinaire
"G2ketosisWithContractTreatmentPrice"	Coût d'un traitement de base pour une cétose De gravité G2 avec forfait vétérinaire
"ketosisPreventiveActionsPrice"	Cout annuel / vache de la prévention cétoses
"lamenessAnnualFootBathPrice"	Coût annuel d'un pédiluve
"lamenessMinFootBathUsagePrice"	Coût minimum de l'utilisation d'un pédiluve
"lamenessMaxFootBathUsagePrice"	Coût maximum de l'utilisation d'un pédiluve
"lamenessFootTrimmingWorkshopPrice"	Coût de l'installation de l'atelier de parage
"lamenessCowFootTrimmingPrice"	Coût du parage d'une vache
"nonInfectiousLamenessCowFootTreatmentPrice"	Coût hors parage du traitement curatif (collectif ou individuel) d'une vache révélée boiteuse non infectieuse
"infectiousLamenessCowFootTreatmentPrice"	Coût hors parage du traitement curatif (collectif ou individuel) d'une vache révélée boiteuse infectieuse
"genni<*severity*><*vet*>VetContractNonTargeted<*age*>TreatmentPrice" <*severity*> = "G1" et "G2" <*vet*> = "With" et "Without" <*age*> = "7" et "8" (8 valeurs au total)	Coût du traitement curatif non ciblé d'un veau âgé de 1 à 7 jours ou de 8 jours et plus affecté par une GENNI de gravité G1 ou G2 hors et sous contrat de soins vétérinaires

"genni<*severity*><*Pathogen*><*vet*>VetContractTargetedTreatmentPrice" <*severity*> = "G1" et "G2" <*Pathogen*> = "Etec", "Crypto", "Rota" et "Corona" <*vet*> = "With" et "Without" (16 valeurs au total)	Coût du traitement curatif ciblé d'un veau affecté par une GENNI de gravité G1 ou G2 par pathogène hors et sous contrat de soins vétérinaires
"genniEtecRotaCorona<*vet*>VetContractVaccinePrice" <*vet*> = "With" et "Without" (2 valeurs au total)	Coût de la vaccination ETEC, Rota et Corona hors et sous contrat de soins vétérinaires
"genniCrypto<*vet*>VetContractVaccinePrice" <*vet*> = "With" et "Without" (2 valeurs au total)	Coût de la vaccination Crypto hors et sous contrat de soins vétérinaires
"genni<*severity*><*vet*>VetContractComplementaryExaminationPrice" <*severity*> = "G1" et "G2" <*vet*> = "With" et "Without" (4 valeurs au total)	Coût des examens complémentaires par le vétérinaire
hygiene<*level*>ScorePreventionActionPrice <*level*> = "3And4" et "5" (2 valeurs au total)	Coût additionnel de l'action liée à l'entretien à la sortie du veau pour un score d'hygiène de 3 et 4, ou 5
hygiene<*level*>ScorePreventionEquipmentPrice <*level*> = "3And4" et "5" (2 valeurs au total)	Coût additionnel annuel du matériel d'entretien pour un score d'hygiène de 3 et 4, ou 5
"elisaTestPrice"	Prix d'un test ELISA avec prise en charge de 50% par le GDS
"PCRTestPrice"	Prix d'un test PCR avec prise en charge de 50% par le GDS
"genotypagePrice"	Prix d'un génotypage avec prise en charge de 50% par le GDS
"dehydratedMilkTonPrice"	Prix d'une tonne de poudre de lait déshydraté
"strawTonPrice"	Prix d'une tonne de paille (matière sèche)
"maizePlantTonPrice"	Prix d'une tonne de plant de maïs (matière sèche)
"grassTonPrice"	Prix d'une tonne d'herbe fraiche (matière brute)
"hayTonPrice"	Prix d'une tonne de foin (matière sèche)
"grassSilageTonPrice"	Prix d'une tonne d'ensilage d'herbe (matière brute)
"rapeseedTonPrice"	Prix d'une tonne de colza (matière brute)
"sojaTonPrice"	Prix d'une tonne de soja (matière brute)
"barleyTonPrice"	Prix d'une tonne d'orge (matière brute)
"mineralVitaminTonPrice"	Prix d'une tonne de minéraux et vitamine (matière brute)
"calfBeddingPrice"	Frais de litière d'un veau
"heiferMiscellaneousVetCost"	Frais vétérinaires par génisse du troupeau
"otherCalfBreedingCost"	Autres frais d'élevage d'un veau
"annualCowBeddingPrice"	Achat de litière par vache présente moyenne
"annualCowMiscellaneousVetCost"	Frais vétérinaires moyens par vache présente
"otherAnnualCowBreedingCost"	Autres frais d'élevage par vache présente moyenne

Tableau 167 : Clés des paramètres du modèle comptable

Les paramètres qui ne seront pas définis dans le fichier seront appliqués avec la valeur par défaut (*cf.* § *2.2.7.1 Paramètres comptables*).

Annexe III : Exemple de mise en œuvre du package R

```
#    _____ _    _ __  __   _____                 _
#   |  __ \| |  | |  \/  | |  __ \               | |
#   | |  | | |__| | \  / | | |__) |_ _  ___| | ____ _  __ _  ___
#   | |  | |  __  | |\/| | |  ___/ _` |/ __| |/ / _` |/ _` |/ _ \
#   | |__| | |  | | |  | | | |  | (_| | (__|   < (_| | (_| |  __/
#   |_____/|_|  |_|_|  |_| |_|   \__,_|\___|_|\_\__,_|\__, |\___|
#                                                       __/ |
#     _    _                                           |___/
#    | |  | |                                          | |
#    | |  | |___  ___   _____ _____ _ _ __ ___  _ __  | | ___
#    | |  | / __|/ _ \  / _ \ \/ / _` | '_ ` _ \| '_ \| |/ _ \
#    | |__| \__ \  __/ |  __/>  < (_| | | | | | | |_) | |  __/
#     \____/|___/\___|  \___/_/\_\__,_|_| |_| |_| .__/|_|\___|
#                                               | |
#                                               |_|

# Info : Pour lancer ce script en mode ligne de commandes :
# - ouvrir le terminal
# - taper : Rscript "C:/Your/Working/Folder/Example.R"

# Load library
library(dhm)

# ----------
# Simulation
# ----------

# DHM instance (mandatory)
# ------------------------
dhm_init_instance()

# -------------------
show("Farm creating")
# -------------------
# Farm 1 : Default : Without vet care contract
farm1_name = "Without vet care contract"
Farm1 = dhm_get_defaut_farm_parameters()
errorMessage <- dhm_create_dairy_farm(Farm1, farm1_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")

# Farm 2 : specific : With vet care contract
farm2_name = "With vet care contract"
Farm2 = dhm_get_defaut_farm_parameters()
Farm2$vetCareContract = "1"
#Farm2$geneticStrategy = "3"
errorMessage <- dhm_create_dairy_farm(Farm2, farm2_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")

# ------------------------------
show("Accounting model to apply")
# ------------------------------
# Get a default accounting parameter
default_amp <- dhm_get_defaut_accounting_model_parameters()

# Create the accounting model based on this parameters (same for both farms)
accounting_model_name = "Default accounting model"
errorMessage <- dhm_create_accounting_model(default_amp, accounting_model_name)
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")

# --------------------------
show("Simulation protocols")
# --------------------------
# Protocol creating (one by farm)
protocol_list <- c("Protocol farm 1", "Protocol farm 2")
farm_list <- c(farm1_name, farm2_name)
discriminant_list <- c("Default", "Specific")
for (i_protocol in 1:length(protocol_list))
{
  if (errorMessage == "")
  {
    # Get a default protocol parameter list
    pp <- dhm_get_defaut_protocol_parameters()
    pp$simulationDuration = "15"
    pp$warmupDuration = "5"
    pp$runNumber = "64"
    pp$farmName = farm_list[i_protocol]
    pp$accountingModelName = accounting_model_name
    pp$discriminant1 = discriminant_list[i_protocol]
```

```
    # Create the protocol based on this parameters
    errorMessage <- dhm_create_protocol(pp, protocol_list[i_protocol])
  }
}
if (errorMessage != "") cat("\033[31m", errorMessage, "\033[0m\n", sep = "")

# ----------------------------------
show("Simulation and result storage")
# ----------------------------------
#resultPath = "C:/your/result/folder/" # if you want to create result csv files
resultPath = "" # -> no csv result files, but dataframe
results <- dhm_execute_protocols(resultPath)

# DHM release (recommended to free memory)
# ----------------------------------------
dhm_leave_instance()

# ---------------------
show("Result analysis")
# ---------------------
if (resultPath == "")
{
  View(results)

  windows()
  par(mfrow=c(3,2))

  # Result stats
  # ------------
  # IVV :
  for (i in 1:length(discriminant_list))
  {
    discriminant = discriminant_list[i]
    farm_name = farm_list[i]
    title = paste("IVV - ",farm_name)
    subReproResults                    <-                    subset(results$TechnicalAndEconomicalResults$IVV,
results$TechnicalAndEconomicalResults$Discriminant1 == discriminant)
    boxplot(as.numeric(subReproResults),  main=title,  ylim=c(350,420),  ylab="Days",  xlab  =  paste("Median
=",round(median(as.numeric(subReproResults)),0), " days"))
  }

  # Production :
  for (i in 1:length(discriminant_list))
  {
    discriminant = discriminant_list[i]
    farm_name = farm_list[i]
    title = paste("Delivered milk - ",farm_name)
    subProductionResults    <-    subset(results$TechnicalAndEconomicalResults$Delivered_milk_liter_quantity,
results$TechnicalAndEconomicalResults$Discriminant1 == discriminant)
    boxplot(as.numeric(subProductionResults),main=title,    ylim=c(600000,850000),    ylab="Kgs",    xlab    =
paste("Median =",round(median(as.numeric(subProductionResults)),0), " kgs"))
  }

  # Mastitis :
  for (i in 1:length(discriminant_list))
  {
    discriminant = discriminant_list[i]
    farm_name = farm_list[i]
    title = paste("Clinical mastitis / cow - ",farm_name)
    subEconomicalResults <- subset(results$TechnicalAndEconomicalResults$Clinical_mastitis_occurency_by_cow,
results$TechnicalAndEconomicalResults$Discriminant1 == discriminant)
    boxplot(as.numeric(subEconomicalResults),main=title,  ylim=c(10,60),  ylab="%",  xlab  =  paste("Median
=",round(median(as.numeric(subEconomicalResults)),0), " %"))
  }

  # Gross margin by year :
  windows()
  par(mar=c(5, 4, 4, 2) + 0.1)

  # Data
  campaigns <-unique(results$TechnicalAndEconomicalResults$Campaign)
  bilanWithout <- integer(0)
  bilanWith <- integer(0)
  for (i in 1:length(campaigns))
  {
    # Filter by campaign
    subCampaign                        <-                        subset(results$TechnicalAndEconomicalResults,
results$TechnicalAndEconomicalResults$Campaign == campaigns[i])
    # Filter by discriminant
    subWithout <- subset(subCampaign, subCampaign$Discriminant1 == discriminant_list[1])
    bilanWithout[i] = mean(as.numeric(subWithout$Gross_margin))
```

```
    subWith <- subset(subCampaign, subCampaign$Discriminant1 == discriminant_list[2])
    bilanWith[i] = mean(as.numeric(subWith$Gross_margin))
  }

  # Plot creation
  plot(campaigns, bilanWithout, type="o", col="red", xlab="Years", ylab="Euros", main="Gross margin",
       ylim=c(100000, max(bilanWithout, bilanWith))+10000, xaxt='n')
  axis(1, at=campaigns)
  lines(campaigns, bilanWith, type="o", col="blue")
  legend("topleft", legend=c(farm1_name, farm2_name), col=c("red", "blue"), lty=1, pch=1)
}
```