

THESE DE DOCTORAT DE

ONIRIS

ECOLE DOCTORALE N° 600
ECOLE DOCTORALE ECOLOGIE, GEOSCIENCES, AGRONOMIE ET ALIMENTATION
SPECIALITE : MICROBIOLOGIE, VIROLOGIE, PARASITOLOGIE

Par

« **Caroline CONSTANCIS** »

L'élevage des veaux laitiers sous nourrices en agriculture biologique : description des pratiques et étude épidémiologique de la cryptosporidiose et des strongyloses digestives et respiratoires

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 30 Septembre 2021

Unité de recherche : UMR BIOEPAR, INRAE

Composition du Jury :

Rapporteurs : Philippe Jacquet Professeur Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse
Nathalie Mandonnet Directeur de recherche INRAE

Examineurs : Yannick Le Cozler Professeur, L'institut agro
Felix Heckendorn Président FiBL France
Bruno Martin Ingénieur de recherche INRAE

Dir. de thèse : Christophe Chartier Professeur Oniris
Co-encadrant : Nadine Ravinet Maître de Conférence Oniris
Florence Hellec Ingénieur d'étude INRAE

Remerciements

L'aboutissement de cette thèse est un travail collectif. Seul mon nom n'apparaît sur le manuscrit mais ce projet n'aurait pas été possible sans l'implication d'un grand nombre de personnes que je souhaite remercier.

Je tiens tout d'abord à remercier Philippe Jacquet et Nathalie Mandonnet d'avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse. Je tiens à remercier Yannick Le Cozler, Felix Heckendorn et Bruno Martin de compléter ce Jury et d'accepter d'évaluer ce travail.

Je remercie les membres du comité de suivi individuel de ma thèse : Yannick Le Cozler, Guillaume Sallé, Julie Duval de m'avoir apporté des conseils précieux.

Merci à Nadine, Nathalie, Christophe, d'être toujours à l'écoute des nouveautés du terrain et de s'être intéresser à la conduite des veaux avec des vaches adultes et proposé ce sujet de thèse. Merci aussi de m'avoir fait confiance lors du recrutement et de m'avoir permis de partager ces 3 années enrichissantes à vos côtés et de m'avoir permis de découvrir cette conduite innovant.

Un immense merci à vous, Nadine et Christophe pour votre bienveillance et de m'avoir patiemment formée tout au long de cette thèse. Je ne pouvais pas espérer un meilleur encadrement. Grâce à vous, il m'a été toujours facile d'avancer et de rester motivée au quotidien. Je retiendrai aussi ces longues réunions où mille idées fusent, entrecoupées d'anecdotes. Travailler avec vous deux est toujours plaisant et enrichissant ; on ne voit pas le temps passer.

Un très grand merci à toi Nadine d'avoir toujours été à mon écoute et d'avoir su déchiffrer mon langage et pour cette complicité.

Merci beaucoup à Florence pour m'avoir fait découvrir la sociologie, où le langage n'est pas toujours le même que celui du biologiste. Merci pour ton accueil chaleureux dans ton unité.

Merci beaucoup à Nathalie, que j'inclue dans l'encadrement de ma thèse, qui va toujours droit au but et qui permet de se poser les bonnes questions au bon moment.

Merci beaucoup à Mette Vaarst de m'avoir accueillie dans son centre de recherche, moi et tant d'autres et de faire de Foulum un lieu de rencontre international de jeunes chercheurs à travers les formations que tu proposes. Merci beaucoup pour ta bienveillance, ta patience et de m'avoir accordé un peu de ton temps précieux.

Au laboratoire, toutes les analyses ont pu être réalisées grâce à Guillaume Morgant, Vincent Marinière, Emmanuelle Blandin, Anne Sophie Noël et Déborah Ménard. Je les remercie pour leur professionnalisme au quotidien et leur disponibilité.

Merci particulièrement à Guillaume qui grâce à sa curiosité scientifique et son enthousiasme a su s'adapter très rapidement à ses nouvelles fonctions dès son arrivée dans l'unité. J'ai ainsi pu très rapidement lui faire confiance et bénéficier de son aide.

Un grand merci aux stagiaires et techniciens qui sont allés sur le terrain avec moi et ont participé au travail de laboratoire et pour certains, fait une première analyse statistique et de débroussailler les

résultats : Morgane Leligois, Marion Bernard, Vicky Channaux, Melissa Devaux, Vincent Marinière, Corentin Giraudeau et Guillaume Morgant.

Merci à Nadine B. et Anne pour leurs conseils sur les statistiques et leur gentillesse.

Merci aussi à Juliette Bordot, Sylvie Alonzo et Michel Leroux pour leur aide administrative et technique, leur rapidité et leur disponibilité et leur bonne humeur.

Merci beaucoup à Christine qui trouve toujours le petit détail pour améliorer le dossier, sa gentillesse et son écoute à chaque fois qu'on se croise.

Merci à tous les membres de l'unité BioEpar pour leur accueil et particulièrement dans le couloir du G4 partagé avec l'équipe APPIfish que je remercie aussi pour leur sympathie.

Merci à tous les éleveurs de ce projet qui nous ont permis de découvrir leur univers et d'avoir répondu avec bienveillance à toutes les questions. Sans eux et leur investissement, je n'aurais jamais pu faire cette thèse. Merci à Annie C., Gildas S., Philippe T., Martine et Arnaud B., Thomas B., Benjamin B., Gwenaëlle et Pascal F., Jean-Yves P., Benjamin D., David B., Nicolas G., Simon P., Marina et Antony B., Benoît R., Jean-Luc D., Florent M., Yannick J., Jérôme M., Yves S., Gérard G., Guylain P., Vincent F., Claire G., Anne D., Gérard Q., Patrice F., Fabienne T., André et Gwen J., Laurence et Erwann L.R., Jean François C., Alain N., Damien H., Gilles L.B. Liliane H., Jeu-Yves G., Dominique et Maxime T., Thibault A., Arnaud J., Véronique et Philippe G., et Laurent B. Et merci aussi à tous les associés et salariés qui nous ont accueillis.

Merci aussi à Delphine Lesage (Seenovia), Alain Palussiere (Seenovia), Patrick Leport (Eilyps), Philippe Tardif (Eilyps), Marie Roulleaux (Elvup) et Yannick Peigny (Elvup) pour vous avoir toujours été disponible malgré vos emplois du temps bien chargés, pour votre professionnalisme et nos échanges durant les pesées.

Merci à vous papa et maman et Oriane qui m'avez toujours soutenue chacun à votre façon.

Enfin, Merci à toi Régis de m'avoir autant aidé sur ce manuscrit et de m'avoir libéré des taches du quotidien pour rédiger ma thèse. Promis, on reverra ta fiche de poste une fois ma thèse terminée !



Préambule

Cette thèse est financée par le métaprogramme GISA (gestion intégrée de la santé animale), INRAE (50%) et par la région Pays de la Loire (50%). Cette thèse s'inscrit dans le projet Européen GrazyDaisy « Innovative and sustainable grazing-based systems integrating cows and young stock », financée par des fonds européen (Core Organic cofund, ERA-NET). L'enjeu du projet est de développer des systèmes d'élevage de bovins laitiers pâturants, innovants, résilients et durables, en agriculture biologique, dans les différents contextes économiques et agro-écologiques européens. Ce projet a notamment étudié des conduites d'élevage autorisant des contacts entre vaches adultes et jeunes animaux. Le but était de produire des connaissances scientifiques directement utilisables et mobilisables par les acteurs de terrain pour pouvoir accompagner les éleveurs désireux de faire une transition vers un tel système.

Ce projet européen s'est déroulé d'avril 2018 à Septembre 2021. Il a réuni 15 partenaires originaires de huit pays européens : la France, le Danemark, l'Allemagne, l'Estonie, la Pologne, la Turquie, les Pays-Bas et la Norvège. La responsable du projet Européen est Mette Vaarst de l'Université Aarhus au Danemark. Cette thèse s'inscrit dans le Work Package 3 : « Effective novel health and welfare promotion » dirigé par Nathalie Bareille, INRAE, France.

Les travaux de recherche ont été réalisés au sein de l'UMR INRAE-Oniris « Biologie, Epidémiologie et Analyse de Risque en santé animale » (BIOEPAR) sous la direction de Christophe Chartier et Nadine Ravinet, parasitologues de l'unité BIOEPAR, et de Florence Hellec, sociologue de l'unité AgroSystèmes Territoire Ressources (ACT-ASTER) de l'INRAE.

La liste d'éleveurs ayant mis cette conduite en place a été réalisée grâce à l'aide d'Isabelle Pailler (Chambre d'Agriculture de Bretagne), Céline Paudpiece et Elisabeth Cocaud (Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire), Olivier Linclau (GAB 44), Emeline Cornet (GAB 49), Stéphane Saille (BCEL Ouest), Evelyne Garaud (Seenovia), les étudiants ingénieurs de production animale à Agrocampus Ouest. Cette liste a été complétée par les vétérinaires praticiens : Dr Cyril Tesson, Vincent Tessier, Amélie Jolivel, Manuel Robcis, Hervé Guedon et par les éleveurs faisant partie de l'étude : Annie C., Benjamin B., Gérard Q., Arnaud B.

Cette thèse a pu être menée grâce aux collaborations étroites avec les éleveurs pratiquant l'élevage des veaux laitiers sous nourrices et ayant accepté de participer à cette étude. Les résultats de la thèse sont aussi issus d'une collaboration étroite avec Laurent Brunet, zootechnicien ingénieur d'études et tous les membres de l'unité expérimentale de l'unité ASTER.

Nous remercions ces différents partenaires qui ont permis la réalisation des travaux présentés dans cette thèse.



Sommaire

Listes des tableaux	16
Listes des figures	17
Liste des abréviations	19

Chapitre 1 : Introduction générale

1. Les conduites des veaux laitiers biologiques, en lien avec la transition agroécologique	22
1.1. L'agriculture biologique, un exemple de la transition agroécologique	22
1.1.1. La transition agroécologique	22
1.1.2. L'agriculture biologique	23
1.2. Les différentes conduites des veaux laitiers	25
1.2.1. L'élevage classique des veaux.....	25
1.2.2. Les différentes conduites des veaux avec des adultes	27
1.2.2.1. Le veau sous sa mère.....	27
1.2.2.2. Les veaux sous nourrices	27
1.3. Les impacts de la conduite des veaux avec des adultes	29
1.3.1. Impacts sanitaires	29
1.3.1.1. Impacts sanitaires sur les veaux	29
1.3.1.2. Impacts sanitaires sur les vaches	30
1.3.2. Impacts zootechniques	31
1.3.2.1. Impacts zootechniques sur les veaux.....	31
1.3.2.2. Impacts zootechniques sur les vaches nourrices	31
1.3.3. Impacts sur le comportement	32
1.3.3.1. Une conduite plus naturelle	32
1.3.3.2. Le lien maternel et la relation homme-animal.....	33
1.3.3.3. Comportement social et apprentissage	33
1.3.4. Impacts organisationnels, économiques et sociétaux.....	33
1.3.4.1. Organisation générale de la ferme.....	33
1.3.4.2. Conditions de travail.....	34
1.3.4.3. Impacts économiques	34
1.3.4.4. Réponses aux attentes sociétales	34
1.4. Annonce du 1er objectif de la thèse	35
2. La cryptosporidiose des veaux	36
2.1. Généralités sur <i>Cryptosporidium</i> spp.	36
2.1.1. Biologie de <i>Cryptosporidium</i>	36
2.1.2. Conséquences physiopathologiques et cliniques	38

2.1.3.	Immunité	38
2.1.4.	Diagnostic	38
2.1.5.	Traitements.....	39
2.2.	Epidémiologie de l'infection par <i>Cryptosporidium</i>	40
2.2.1.	Prévalence et intensité d'excrétion de <i>Cryptosporidium</i> spp.	40
2.2.2.	Sources de contamination et mode de transmission	42
2.2.3.	Facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de <i>Cryptosporidium</i> spp.	43
2.3.	Annonce du second objectif de la thèse	45
3.	Les strongyloses des bovins au pâturage.....	46
3.1.	L'infestation par <i>Ostertagia ostertagi</i>	46
3.1.1.	Biologie d' <i>Ostertagia ostertagi</i>	46
3.1.2.	Conséquences de l'infestation.....	47
3.1.2.1	Baisse d'appétit et maldigestion.....	47
3.1.2.2	Baisse des productions et signes cliniques	48
3.1.3.	Développement de l'immunité concomitante	49
3.1.4.	Examens complémentaires utilisables pour le diagnostic de l'infestation.....	49
3.1.5.	Epidémiologie de la maladie	51
3.2.	L'infestation par <i>Dictyocaulus viviparus</i>	52
3.2.1.	Biologie de <i>D. viviparus</i>	52
3.2.2.	Conséquences de l'infestation.....	52
3.2.3.	Développement de l'immunité.....	53
3.2.4.	Epidémiologie	53
3.2.5.	Examens complémentaires utilisables dans le diagnostic de l'infestation.....	54
3.3.	Maîtrise des infestations par les strongles	54
3.3.1.	Actions directes sur les parasites.....	54
3.3.2.	Actions sur l'hôte.....	55
3.3.3.	Actions sur les stades libres.....	55
3.3.3.1.	La stratégie préventive.....	55
3.3.3.2.	La stratégie d'évasion.....	56
3.3.3.3.	La stratégie de dilution.....	56
3.4.	Annonce du 3 ^{ème} objectif de la thèse.....	58
4.	Stratégies d'analyses et plan de la thèse.....	59
4.1.	Rappels des objectifs de la thèse	59
4.2.	Stratégie générale	59
4.3.	Stratégies spécifiques à chaque objectif de la thèse	60
4.3.1	Mise en œuvre de la conduite des veaux sous nourrices en France et perception des éleveurs	60

4.3.2 Description des phases d'élevages des veaux de la naissance à la mise à l'herbe et étude de l'infection par <i>Cryptosporidium</i> en période néonatale	60
4.3.3 Etude de l'infestation par les strongles en première et deuxième saison de pâturage	61
4.4. Plan de la thèse.....	62
Références	63

Chapitre 2 : Introduction and development of the nurse cow system in organic dairy farms in France

1. Introduction.....	91
2. Material and methods.....	92
2.1. The setting: how the nurse cow system in France was introduced and diffused.....	92
2.2. Selection and recruitment of farmers.....	93
2.3. Data collection and analysis.....	93
3. Results	93
3.1. Characteristics of the farms and farmers	93
3.2. Implementation of nurse cow rearing in participating farms.....	96
3.2.1. Motivations to implement this calf rearing system.....	96
3.2.2. Experienced challenges and identified solutions in the implementation phase.....	97
3.3. Description of the nurse cow rearing system	98
3.3.1. Calving and rearing before fostering	98
3.3.2. Fostering process.....	99
3.3.3. Pasture phase	100
3.3.4. Weaning and separation.....	100
3.4. Farmers' perception of this rearing system.....	101
3.4.1. Will wild calves be a consequence of this system?	101
3.4.2. Did the nurse cows teach the calves how to behave?	101
3.4.3. Is the heifer performance increased?.....	102
3.4.4. How did farmers perceive the disease risks of the calves and the nurse cows?.....	102
4. Discussion.....	102
4.1. Can the nurse cow system become part of an agro-ecological transition?.....	103
4.2. Calves' and nurse cows' behaviour and learning.....	104
4.3. Impact on the calves' and the nurse cows' performance.....	105
4.4. Farmers' considerations regarding selection of nurse cows	106
4.5. Farmers' working conditions	106
4.6. Methodological considerations	106
5. Conclusion	107

Conflict of Interest.....	107
Author Contributions	107
Acknowledgments.....	107
References.....	107

Chapitre 3 : Rearing system with nurse cows and risk factors for Cryptosporidium infection in organic dairy calves

Abstract	115
1. Introduction.....	115
2. Materials and Methods	116
2.1. Recruitment of dairy herds and data collection.....	116
2.2. Faecal sampling and analysis.....	116
2.3. Statistical analysis.....	117
3. Results.....	117
3.1. Description of the dairy nurse cow-calf rearing systems	117
3.2. Prevalence of Cryptosporidium oocyst excretion and diarrhoea.....	118
3.3. Risk factors associated with Cryptosporidium oocyst shedding in all the calves (fostered or not).....	118
3.4. Calf management profiles related to Cryptosporidium oocyst excretion.....	118
4. Discussion.....	119
Declaration of Competing Interest.....	120
Acknowledgements.....	120
References.....	120

Chapitre 4 : Dynamiques d’infestation par les strongles digestifs des veaux sous nourrices durant la première saison de pâturage et conséquence durant leur seconde saison de pâturage

Chapitre 4.1.: Gastrointestinal nematode and lungworm infections in organic dairy calves reared with nurse cows during their first grazing season in western France

Abstract	126
1. Introduction.....	127
2. Materials and Methods	128
2.1. Introduction Farms, animals and sampling dates.....	128
2.2. Assessment of nematode infection in animals and GIN infectivity of pasture.....	128
2.3. Statistical analysis.....	129
3. Results	130
3.1. Characteristics of the grazing management practices and GIN infectivity of pasture.....	130
3.2. Assessment of GIN infection of calves and nurses at housing in 2018 and throughout the 2019 grazing season.....	131
3.3. Between-group variability of GIN infection in calves at housing.....	134

3.4. Coughing records and ELISA results for <i>D. viviparus</i>	134
4. Discussion.....	135
5. Conclusion.....	137
Conflict of Interest.....	138
Author Contributions	138
Acknowledgments	138
References.....	138

Chapitre 4.2 : Infestation des génisses sevrées par les strongles gastro-intestinaux durant la seconde saison de pâturage.

Introduction.....	145
Matériels et méthodes	145
1. Animaux et protocole expérimental.....	145
2. Prélèvements et analyses de laboratoire	145
3. Analyses statistiques.....	146
Résultats	147
1. Caractéristiques des pratiques de pâturage.....	147
2. Description de l'évolution des 3 marqueurs d'infestation à partir de la rentrée en bâtiment en fin de première saison de pâturage et durant la seconde saison de pâturage	148
3. Variabilité du pepsinogène et de l'ODR <i>Ostertagia</i> en fin de seconde saison de pâturage.....	149
Discussion	150
Références.....	151

Chapitre 5 : Discussion générale

1. Synthèse des résultats	157
1.1. Mise en œuvre de la conduite des veaux sous nourrices en France et perception des éleveurs.....	157
1.1.1. Une pratique importée d'Angleterre qui évolue au fil de sa diffusion	157
1.1.2. Une conduite type qui s'adapte à chaque ferme	158
1.1.3. Un ressenti positif de la part des éleveurs	158
1.2. Description précise des phases d'élevage des veaux durant le premier mois de vie et étude de l'infection par <i>Cryptosporidium</i> en période néonatale	159
1.2.1. Des pratiques diversifiées dans les phases d'élevage de la naissance à la mise à l'herbe	159
1.2.2. Une excrétion d'ookystes de <i>Cryptosporidium</i> globalement faible dans les élevages pratiquant cette conduite	159
1.2.3. Les facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de <i>Cryptosporidium</i>	160

1.3.	Infestation par les strongles gastro-intestinaux : un contact limité en SP1 avec de possibles conséquences en SP2	160
2.	Forces et faiblesses du dispositif d'études	163
2.1.	Le choix de deux études observationnelles	163
2.2.	Des élevages bovins laitiers en agriculture biologique	164
2.3.	Une étude participative susceptible de biaiser les résultats de l'étude ?	164
2.4.	Une sélection d'indicateurs pour les études parasitologiques	165
3.	Pourquoi élever des veaux laitiers avec des vaches nourrices ?	166
3.1.	Des perceptions positives de la conduite mais peu de validation scientifique à ce jour	166
3.2.	Une biosécurité interne « dégradée » en bâtiment ?.....	168
3.2.1.	La biosécurité interne vue au travers de la cryptosporidiose	168
3.2.1.1.	Facteurs liés aux veaux.....	169
3.2.1.2.	Facteurs liés à l'agent pathogène.....	169
3.2.1.3.	Facteurs liés à l'environnement	170
3.2.2.	Le message que doivent retenir les éleveurs : un système globalement protecteur mais avec des points d'attentions	170
3.2.3.	La coccidiose, une parasitose à l'interface bâtiment/pâturage	171
3.2.4.	<i>Mycobacterium paratuberculosis</i> , agent de la paratuberculose des ruminants, une transmission facilitée par le contact jeunes/adultes ?.....	171
3.3.	Le maintien des adultes avec les jeunes au pâturage : une conduite à risque vis-à-vis des strongles ?	172
3.3.1.	Les recommandations usuelles concernant la maîtrise du parasitisme des génisses laitières au pâturage.....	172
3.3.2.	Infestation par les strongles gastro-intestinaux : 3 cas de figure à considérer	172
3.3.2.1.	Une conduite s'adaptant bien à l'agriculture biologique.....	175
3.3.2.2.	Les messages à retenir pour les éleveurs	175
3.3.3.	La dictyocaulose.....	175
4.	Perspective d'application	176
4.1.	Evolution spatio-temporelle de la conduite et généralisation de l'étude	176
4.2.	La communication des résultats au sein de l'étude.....	176
4.3.	Acceptabilité et mise en pratique des résultats de cette étude.....	177
4.3.1.	Par les éleveurs.....	177
4.3.2.	Par la société	177
5.	Perspectives de recherche, inclure la vache nourrice dans l'étude sur le système	178
5.1.	Les vaches nourrices : des animaux fortement sollicitées.....	178
5.2.	Le réel impact de l'infestation par les SGI est très difficile à évaluer chez les nourrices	179
5.3.	Des vaches nourrices difficiles à inséminer ?.....	179

5.4. Un effet curatif sur les boiteries ?.....	180
5.5. Un effet sur la santé de la mamelle ?	180
Références.....	181
Conclusion générale.....	186
Liste des publications réalisées et prévues	188
Articles scientifiques.....	188
Communications orales dans un congrès international.....	188
Communications orales dans un congrès national	189
Articles de vulgarisation	189
Vidéos de vulgarisation en cours de montage	189
Communication indirecte : résultats repris par d'autres auteurs.....	189

Listes des tableaux

Chapitre 1 :

Tableau I. Liste des principales modalités d'application du cahier des charges biologiques (Règlements (CE) n° 834/2007, (CE) n°889/2008 et (UE) 2018/848).

Tableau II. Prévalence individuelle de l'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium* spp. chez les veaux laitiers.

Tableau III. Prévalence des veaux allaitants excréant des ookystes de *Cryptosporidium* spp.

Tableau IV. Principaux facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium* spp.

Chapitre 2 :

Tableau 1. Characteristics of the 20 organic dairy farms included in the study.

Tableau 2. Key characteristics of the nurse cow systems in the 20 organic dairy farms included in the study.

Tableau 3. Challenges experienced by the interviewed farmers in their nurse cow systems, and their identified solutions at the implementation.

Chapitre 3 :

Tableau 1. Characteristics of the 20 organic dairy cattle farms included in the study.

Tableau 2. Univariate analyses (mixed effect logistic regression models): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age in 20 organic dairy farms (n = 611).

Tableau 3. Final multivariate analysis (mixed effect logistic regression model): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age in 20 organic dairy farms (n = 611).

Tableau 4. Global management profiles: description of the five groups of calves resulting from the MCA–HCA analysis and their association with *Cryptosporidium* shedding oocysts (univariate regression analysis).

Tableau 5. Univariate analyses (mixed effect logistic regression models): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age fostered by nurse cows in 20 organic dairy farms (n = 257).

Chapitre 4.1 :

Tableau 1. Description of the study sample (first season grazing dairy calves with nurse cows) and grazing management practices in 2018 and 2019 according to turnout periods

Tableau 2. Mean values (standard deviation) of the three indicators of gastrointestinal nematode infection measured at housing in 2018 in first season grazing dairy calves reared with nurse cows (n=33 groups). Average values are given according to the period of turnout.

Tableau 3. Mean values (standard deviation) of the three indicators of gastrointestinal nematode infection measured at 4 sampling occasions throughout the 2019 grazing season in first season grazing dairy calves reared with nurse cows (n = 41 groups). Average values are given according to date of turnout.

Tableau 4 : Results of the univariate analyses (linear regression models): factors associated with calves' pepsinogen values or *Ostertagia* ELISA ODR values measured at housing and averaged at the group-level (n = 74 groups).

Tableau 5 : Results of the final multivariate analysis (linear regression models): factors associated with calves *Ostertagia* ELISA ODR values measured at housing and averaged at the group-level (n = 74 groups).

Tableau 6 : *D. viviparus* MSP ELISA results: Mean ODR values and mean percentages of positive calves and nurse cows per group at housing in 2019 (n = 41 groups). Average values are given according to the date of turnout.

Chapitre 4.2 :

Tableau I. Description de l'échantillon d'étude (génisses en seconde saison de pâturage ayant pâturé avec des vaches nourrices en première saison) – les données sont indiquées en fonction de la durée de la saison de pâturage en SP1.

Tableau II. Valeurs moyennes par lot (écarts type) de l'excrétion fécale (opg), du pepsinogène sérique (UTyr) et de l'ELISA *Ostertagia* (ODR) en fin de SP1 et aux trois dates de prélèvements en SP2 chez des génisses élevées sous nourrice en SP1.

Tableau III. Résultats de l'analyse univariée (régression logistique) concernant le niveau moyen de pepsinogène sérique : variables explicatives (variables qualitatives) conservées pour l'analyse multivariée (p-value < 0,20).

Tableau IV. Résultats des analyses univariées et multivariées (régression logistique) concernant le niveau moyen d'anticorps anti-*Ostertagia* (ODR).

Chapitre 5 :

Tableau I. Variation de l'exposition des génisses laitières élevées classiquement durant la SP1, d'après Merlin et al., (2016).

Listes des figures

Chapitre 1 :

Figure 1. Nombre d'exploitations laitières bio et taille moyenne du troupeau de vaches laitières en 2015 (Source : France AgriMER d'après l'Agence Bio).

Figure 2. Cycle biologique de *Cryptosporidium* spp. (d'après Juranek, 2000).

Figure 3 : Cycle évolutif d'*Ostertagia ostertagi*. Adapté de Ravinet et al., (2015) et GDS 64 (2021).

Figure 4 : Mécanisme de fonctionnement d'une glande gastrique normale et parasitée d'après Ravinet et al., (2015).

Figure 5 : Cycle évolutif de *D. viviparus* d'après GDS 64 Photo C. Chartier ; E. Peredes Herbach, (2016).

Chapitre 2 :

Figure 1: Illustration of the time line of the nurse cow rearing system.

Chapitre 3 :

Figure 1. Description of the nurse cow – calf rearing system: proportion of calves going through each rearing phase (replacement and non-replacement dairy calves) in the 20 organic dairy farms of the study (n = 611 calves). Averages (standard deviations) were indicated regarding duration and age. Percentages are calculated on all calves.

Chapitre 4 :

Figure 2 : Evolution des niveaux d'anticorps anti-Ostertagia (A), de pepsinogène (B) et d'excrétion fécale d'œufs de SGI (C) de veaux sous nourrices à la rentrée de la première saison de pâturage et durant leur seconde saison de pâturage. Cette évolution est représentée en fonction de la durée de pâturage en 1^{ère} saison : <90 jours, 90 à 180 jours, 180 à 240 jours et >240 jours.

Chapitre 5 :

Figure 3 : Représentation spatiale et temporelle de l'introduction et de la diffusion de la conduite des veaux sous nourrice en France jusqu'aux éleveurs suivis dans notre étude (fermes numérotées).

Figure 4 : Chronologie de la conduite des veaux avec des vaches nourrices.

Figure 5: Nuage de mots représentant les perceptions des éleveurs vis-à-vis de la conduite des veaux sous nourrices.

Figure 6 : Les trois phases d'élevage des veaux de la naissance à la mise à l'herbe : durée de chacune de ces phases et proportions de veaux passant par chacune de ces phases (n = 611). Les durées indiquées en gras correspondent aux moyennes.

Figure 5 : Facteurs de risque d'excrétion de *Cryptosporidium* mis en évidence (photo : C. Constancis)

Figure 6 : Evolution des moyennes des 3 indicateurs parasitaires au cours des 2 saisons de pâturages en fonction de la durée de la première saison de pâturage.

Figure 7 : Facteurs influençant l'exposition des génisses au cours des 2 saisons de pâturage (SP1 et SP2). (Photo : C. Constancis)

Figure 8 : Domaines sur lesquels les éleveurs ont exprimé une perception positive relativement à la conduite des veaux sous nourrices.

Figure 9 : Principaux facteurs liés à la diffusion des agents pathogènes gastro-intestinaux (d'après Barrington et al. (2002).

Figure 10 : Evolution de l'intensité des facteurs modulant l'infestation par les SGI au cours de la première et de la deuxième saison de pâturage dans 3 cas de figure retrouvés dans la conduite des veaux sous nourrice : longue SP1 suivie d'une longue SP2 (en vert foncé), SP1 de durée moyenne suivie d'une longue SP2 (en vert clair), très courte SP1 suivie d'une longue SP2 (en gris).

Liste des abréviations

AB : agriculture biologique

AIC : critère d'information d'Akaike

BEA : bien-être animal

IFAT : immunofluorescence direct

IFOAM: International Federation of Organic Agriculture Movements

GAB Groupement des Agriculteurs Biologique

GMQ : gain moyen quotidien

GLmax1 : nombre maximal de générations larvaires en 1^{ère} saison de pâturage

GLmax2 : nombre maximal de générations larvaires en 2nd saison de pâturage

L3 : 3^{ème} stade larvaire infestant

MAP : *Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis*

opg : œufs par gramme

OR : odd ratio

RDO : ratio de densité optique

sd : écart-type

SGI : strongle gastro-intestinal

SP1 : première saison de pâturage

SP2 : seconde saison de pâturage

TCE1 : temps de contact effectif en 1^{ère} saison de pâturage

TCE2 : temps de contact effectif en 2nd saison de pâturage

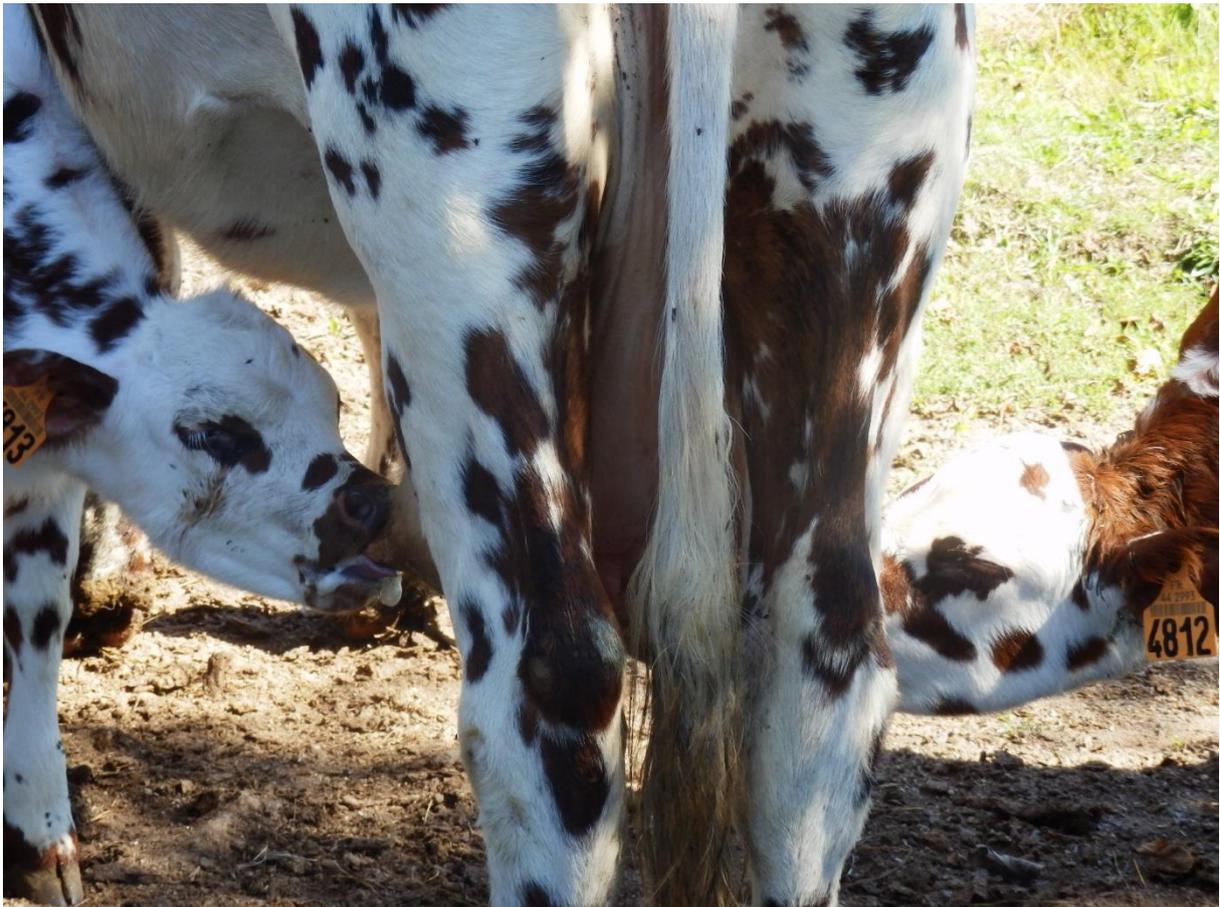
TIP : transfert de l'immunité passive

UTH : unité de travailleur humain

U Tyr : unité tyrosine

VIF : facteur d'inflation de la variance

Chapitre 1. Introduction générale



1. Les conduites des veaux laitiers biologiques, en lien avec la transition agroécologique

1.1. L'agriculture biologique, un exemple de la transition agroécologique

1.1.1. La transition agroécologique

A la sortie de la seconde guerre mondiale, l'agriculture employait plus du tiers de la population active française. Les exploitations étaient de petite taille, faiblement productives, et utilisaient des techniques de production traditionnelles (Mendras, 1995). Au début des années 1950, dans un contexte de pénurie alimentaire nationale, les pouvoirs publics ont placé l'agriculture au centre des préoccupations (de Lattre-Gasquet et Loyat, 2009). Le développement agricole est alors majoritairement orienté vers un modèle productiviste et standardisé menant à une uniformisation des systèmes de production (raccourcissement des rotations, réduction du nombre d'espèces cultivées et élevées) (Duru et al., 2014). Cette politique a certes permis d'augmenter les rendements agricoles et d'atteindre l'autosuffisance alimentaire de la France, mais cela a aussi conduit à des bouleversements sociaux et environnementaux. Dès le début des années 1970, la prise de conscience des limites de l'agriculture conventionnelle se concrétise par le développement de l'agriculture durable écologiquement et socialement (Tichit and Dumont, 2016). Au début des années 2000, la visée de l'agroécologie s'étend avec l'articulation de l'agroécosystème et du système agroalimentaire (Francis et al. 2003). L'agroécologie s'impose dans les agendas stratégiques des différents instituts de recherche français, dans la conception de la nouvelle loi d'orientation de l'agriculture et dans les réflexions et les pratiques des acteurs sur le terrain. Pour le ministère de l'Agriculture, l'agroécologie est la voie vers la double performance économique et environnementale, au cœur du projet « Produire autrement » (Tichit et Dumont, 2016). L'INRAE inscrit dans son document d'orientation 2010-2020 l'agroécologie comme l'une de ses deux priorités, aux côtés de la biologie prédictive, pour répondre aux enjeux de durabilité des systèmes de production agricole (Guillou et al., 2010).

Pour créer une profonde modernisation écologique de l'agriculture, les innovations ne peuvent pas seulement être technologiques et techniques. Il s'agit d'un réel changement de paradigme avec la mise en place de modèles alternatifs avec des innovations sociales, économiques et institutionnelles permettant de répondre aux grands enjeux du XXI^e siècle (Duru et al., 2014). Les systèmes et produits agroécologiques amènent à repenser les chaînes d'approvisionnement actuelles et à identifier des marchés compatibles avec les caractéristiques des produits agroécologiques comme l'agriculture biologique (AB) (Altieri et Nicholls, 2001). Les agriculteurs sont amenés à développer par eux-mêmes des systèmes agricoles innovants et des connaissances nécessaires pour l'amélioration de leur stratégie de production. Cela se fait souvent par des groupes d'échanges entre pairs pouvant s'appuyer sur des experts extérieurs tels que les chercheurs et favorisant l'apprentissage du plus grand nombre d'agriculteurs (Warner, 2008 ; Moore, 2011).

Dans les élevages de vaches laitières, l'agroécologie se concrétise par des systèmes basés sur les pâturages, préservant les paysages et la race bovine emblématique (Beudou et al., 2017 ; Vollet et al., 2017) ou de vaches issues de croisement avec des races rustiques plus adaptées aux conditions climatiques locales (Dumont et al., 2013). La maximalisation des pâturages permet de nourrir le troupeau à moindre coût dans des exploitations agroécologiques qui visent l'autosuffisance (Dumont et al., 2013). L'autosuffisance alimentaire brise la dépendance à l'égard des prix du marché, rendant le système agroécologique plus stable, mais elle est souvent associée à une dépendance des conditions climatiques (Dumont et al., 2013 ; Caquet, 2020). Les systèmes d'élevage basés sur les prairies

contribuent à la qualité de l'air et de l'eau, à la régulation du climat et à la conservation de la biodiversité (van Oudenhoven et al., 2012 ; Rodríguez-Ortega et al., 2014 ; Lemauviel-Lavenant et Sabatier, 2017). En Irlande, où les systèmes herbagers sont majoritaires et particulièrement rentables (Brocard et al., 2008 ; You et Monniot, 2013) ou encore dans des systèmes laitiers agroécologiques autosuffisants comme en Bretagne, la gestion des troupeaux est adaptée aux besoins des animaux et aux ressources. Pour cela, les périodes de vêlage sont regroupées au printemps, sur des périodes courtes avec une saison de reproduction n'excédant pas 100 jours (Dumont et al., 2013 ; McCarthy et al., 2013). La longévité des animaux est par ailleurs un gage de durabilité économique et écologique des élevages laitiers car elle permet de réduire la taille du troupeau de génisses, le chargement, et ainsi les rejets azotés (Disenhaus et al., 2005 ; Peyraud et al., 2009). Les exploitations bretonnes biologiques ont enregistré des améliorations environnementales significatives. La consommation d'énergie et la pression de l'azote ont diminué de 33 % par rapport aux exploitations conventionnelles en raison d'une moindre fertilisation minérale (Dumont et al., 2013). Ces exploitations ont aussi réalisé des économies sur les aliments concentrés et sur le carburant lié à la mécanisation (Le Rohellec et al., 2009). La priorité de ces exploitations agroécologiques a été nourrir le troupeau à moindre coût. Ainsi, les exploitations du réseau d'agriculture durable ont obtenu une valeur ajoutée plus élevée et un revenu net par unité de travail plus élevé que celui des fermes conventionnelles malgré une plus faible vente de lait (RAD, 2010). La baisse modérée de la productivité (2 200 L de lait/ha par rapport aux fermes conventionnelles) a été largement compensée par la réduction globale des coûts des intrants. Les coûts d'alimentation ont diminué de près de moitié et les dépenses de mécanisation ont aussi diminué fortement. Ces systèmes laitiers à faible consommation d'intrants ouvrent de nouvelles possibilités pour les systèmes d'élevages existants, car ils affichent de bons résultats économiques tout en limitant la pollution (Dumont et al., 2013).

Un besoin d'approfondissement des recherches portant sur des conduites innovantes des bovins laitiers est aujourd'hui clairement nécessaire en vue d'accompagner les éleveurs dans cette transition agroécologique. Les connaissances scientifiques de ces systèmes d'élevages innovants pourront servir de base pour le conseil en élevage ou des travaux de recherche participative (Berthet et al., 2015).

1.1.2. L'agriculture biologique

En réaction à l'évolution de l'agriculture de nouvelles approches agricoles alternatives émergent dans les années 1920 tout d'abord en Autriche et en Angleterre fondant les principes de l'AB. En France, les pionniers développent l'AB à partir des années 1960-1970. Ils s'opposent donc à l'industrialisation agricole, et remettent en cause le modèle dominant, utilisateur de l'agrochimie qui épuise les sols. Ils émettent aussi des inquiétudes concernant les impacts sur la santé humaine de la consommation de produits issus de ce mode de production (Touret, 2015). L'AB fait officiellement son apparition en 1991 dans un règlement européen (règlement CEE 2092/91 du 24 juin 1991). Il concerne alors uniquement les produits végétaux et transformés, puis est élargi en 1999 aux productions animales. Le cahier des charges européen mentionné dans le règlement (CE) n°834/2007, est entré en vigueur le 1^{er} janvier 2009 et s'applique à l'ensemble des pays membres. Le logo européen « l'Eurofeuille » est créé pour aider les consommateurs à repérer plus facilement les produits issus de l'AB (Schmitt, 2018).

Les principales règles concernant l'élevage bovin laitier sont détaillées dans le **Tableau I**. Le temps de conversion est de 2 ans. L'obtention de la certification AB est soumise à l'adhésion à un organisme certificateur qui procède à des contrôles annuels. L'éleveur doit alors tenir à sa disposition le carnet d'élevage mentionnant les traitements vétérinaires, le plan d'épandage des effluents d'élevage, la description de la partie dédiée aux cultures et les documents comptables.

Tableau I. Liste des principales modalités d'application du cahier des charges biologiques (Règlements (CE) n° 834/2007, (CE) n°889/2008 et (UE) 2018/848).

	Obligations	Recommandations
Origines des animaux	Les mâles adultes et les femelles nullipares non biologiques peuvent être introduits (maximum 10 % du cheptel sauf changement de race, en respectant une durée de conversion de 6 mois).	Préférer les races adaptées aux conditions locales, avec une grande diversité génétique, assurant un niveau élevé de bien-être animal (BEA) et contribuant à prévenir toutes souffrances telles que les césariennes. Eviter l'achat d'animaux.
Alimentation des veaux	Les veaux doivent être alimentés avec du lait, produit sur la ferme pendant minimum 3 mois.	Préférer le lait maternel.
Logement	Respecter les besoins spécifiques de l'animal dont les besoins comportementaux. Les cases individuelles pour les veaux de plus d'une semaine sont interdites.	Le bâtiment d'élevage peut être amélioré et enrichi au moyen de produits minéraux (listé Annexe I (CE) n°834/2007).
Accès au pâturage	Accès aux pâturages biologiques chaque fois que les conditions climatiques le permettent.	L'accès au pâturage n'est pas obligatoire durant les mois d'hiver.
Prophylaxie	Les bolus, les médicaments vétérinaires allopathiques, chimiques ou antibiotiques, à des fins de traitements préventifs sont interdits.	Les vaccins peuvent être utilisés.
Soins vétérinaires	Sous la responsabilité des vétérinaires, 3 traitements allopathiques maximum peuvent être donnés par an par animal (en dehors de la vaccination, des anthelminthiques et des plans d'éradication obligatoires). Délai d'attente doublé et minimum de 48 h.	Les produits phytosanitaires et homéopathiques sont à privilégier à condition qu'ils aient un effet thérapeutique réel sur l'espèce animale concerné et sur l'affection pour laquelle le traitement est prévu.

La vache idéale en système pâturant biologique est décrite comme :

- efficace dans la transformation des fourrages en lait (Peyraud et al., 2009),
- capable de s'adapter aux ressources du système (Peyraud et al., 2009),
- pouvoir se reproduire dans un intervalle de temps limité (Butler, 2014),
- suffisamment robuste pour maintenir son état corporel tout en gardant un état sanitaire qui lui assure un bien-être optimal (Règlement R(CE) n°834/2007) sur plusieurs lactations, grâce à une bonne longévité fonctionnelle (Brochard et al., 2013).

Les systèmes de contact entre la vache et le veau ne sont pas abordés dans la réglementation. Le guide de lecture permettant aux organismes certificateurs d'interpréter le règlement, précise depuis 2013 : « le logement des veaux au-delà d'une semaine doit se faire dans des cases permettant d'accueillir plusieurs animaux dans le respect des surfaces de l'annexe III (CE) n°889/2008 ». Une application plus stricte de la réglementation par les organismes certificateurs va obliger les éleveurs à permettre aux veaux âgés de plus d'une semaine d'avoir accès à l'extérieur lorsque les conditions météorologiques le permettent (Parrain, 2020). Cette nouvelle interprétation ainsi que les principes biologiques décrits par l'IFOAM (2005) tels que "les animaux doivent bénéficier des conditions et des opportunités de vie en accord avec leur physiologie, leur comportement naturel et leur bien-être", peuvent être une motivation au développement de systèmes d'élevage de veaux sous la mère ou sous nourrices (Vaarst et al., 2020a).

La demande croissante de produits biologiques crée des conditions propices au développement et à l'expansion du marché. Le secteur de l'AB dans l'Union Européenne a connu un développement rapide ces dernières années avec une surface agricole multipliée par 1,5 (de 5,1 % à 7,5 %) entre 2010 et 2018.

Ce développement a été suivi par une augmentation du nombre d'exploitations et du nombre d'opérateurs de la filière biologique (Agence bio, 2020). Quatre pays européens totalisent près de 60 % des surfaces et des exploitations biologiques : l'Espagne, la France, l'Italie et l'Allemagne (Agence Bio, 2020). La France se place première des pays européens par sa surface biologique dédiée aux grandes cultures et seconde en termes de production laitière (Agence Bio, 2020).

En France, 8,5 % de la surface agricole est certifiée bio en 2019, soit plus du double qu'en 2014. Plus de 10 % des surfaces fourragères sont bio (Agence bio, 2020). En 2019, le nombre de vaches laitières biologiques atteint près de 250 000 individus (certifié et en conversion), soit 7 % du total national (10 % de plus qu'en 2018) (**Figure 1**). Le nombre d'exploitations biologiques dépasse les 4 500 en 2019 (10 % de plus qu'en 2018), la Bretagne, la Normandie et les Pays de la Loire représentant le bassin le plus important (Agence bio, 2020).

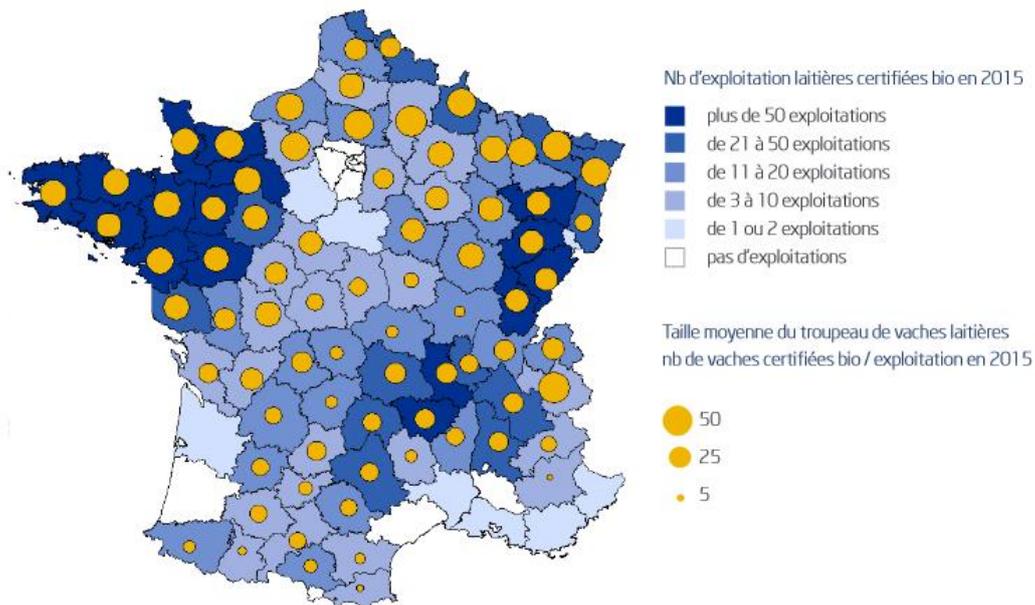


Figure 7 : Nombre d'exploitations laitières biologiques et taille moyenne du troupeau de vaches laitières en 2015 (Source : France AgriMEr d'après l'Agence Bio).

1.2. Les différentes conduites des veaux laitiers

1.2.1. L'élevage classique des veaux

Une enquête réalisée en 2009-2010 auprès de 449 exploitations laitières en Pays de Loire révélait que 82 % des troupeaux étaient composés principalement de vaches de race Prim'Holstein. Les vêlages sont généralement regroupés en été ou à l'automne afin de permettre une meilleure rémunération du lait au détriment d'une utilisation optimale du pâturage (Le Cozler et al., 2012).

La pratique de la séparation mère - veau immédiatement après la naissance a été largement acceptée et est une pratique normale de l'élevage laitier (de Passillé et al., 2008 ; Stěhulová et al., 2008 ; Beaver et al., 2019 ; Vaarst et al., 2020a). Les recommandations portent sur une séparation du veau de sa mère immédiatement ou dans les 1 à 2 heures suivant la naissance et préconisent de lui donner 2 litres de colostrum (McGuirk et Collins, 2004 ; Windsor et Whittington 2010). Ces recommandations sont suivies par la quasi-totalité des éleveurs de l'étude de Le Cozler et al. (2012). Seulement 3,5 % des éleveurs laissent le veau plus de 24 heures avec leur mère (Le Cozler et al., 2012). Les arguments en faveur d'une séparation précoce du veau et de la mère sont nombreux :

- L'exposition du veau aux agents pathogènes provenant de la mère et de son environnement est limitée (Godden, 2008 ; Sumner et von Keyserlingk, 2018).
- La majorité des veaux ingérant le colostrum maternel par tétée naturelle n'ont pas un transfert d'immunité passive adéquat (Franklin et al, 2003).
- La séparation mère-veau peut être traumatisante lorsque le lien a été établi (Weary and Chua, 2000 ; Flower et Weary, 2003 ; débattu par Johnsen et al., 2016).
- Le lien entre le veau et sa mère diminue les contacts entre le veau et l'éleveur et peut conduire à une manipulation plus difficile du veau ou à un comportement agressif de la mère envers l'éleveur (Vaarst et al., 2020a).
- La quantité de lait commercialisable est moindre lorsque le veau boit *ad libitum* (Meagher et al., 2019).

Lors de la phase d'alimentation lactée, le lait entier est utilisé par les ¾ des éleveurs français. Il s'agit généralement du lait non commercialisable, collecté lors des 13 premières traites. Seul 2 % des éleveurs donnent du lait sous forme de yaourt ou de lait acidifié. Les éleveurs commencent à donner du concentré et du fourrage juste après la naissance (Le Cozler et al., 2012). Les veaux sont sevrés en moyenne à $2,9 \pm 0,7$ mois (Le Cozler et al., 2012).

Les lots de génisses sont mis au pâturage pour la première fois à l'âge moyen de $8,9 \pm 3,1$ mois avec toutefois de fortes variations entre les exploitations. Les parcelles pâturées par les génisses sont exclusivement réservées à cet usage (79 %). La gestion des parcelles est généralement adaptée à l'âge des génisses, les animaux les plus jeunes restant à proximité du bâtiment principal de l'exploitation (Le Cozler et al., 2012).

Plus de 98 % des éleveurs ont recours à l'insémination artificielle. La majorité des éleveurs interrogés fixent un âge cible au 1^{er} vêlage à 24 mois (44 %), à 30 mois (42 %) ou à 36 mois (10 %). Les éleveurs qui commencent la reproduction précocement (24 mois) utilisent plus de concentré durant la 1^{ère} année des génisses que ceux optant pour une stratégie de 1^{er} vêlage tardif. Les génisses avec des vêlages à un âge plus avancé (36 mois par exemple), ne reçoivent généralement pas de complémentation : outre le pâturage, elles ont un régime composé d'ensilage d'herbe, de foin et de compléments minéraux en hiver. Une proportion importante d'éleveurs donne des vitaminiques et des minéraux pendant la première saison de pâturage (Le Cozler et al., 2012).

Les génisses gestantes intègrent le troupeau laitier en fin de gestation (8 mois) ou lors de leur vêlage (71 %). Lors du 1^{er} vêlage, les génisses n'ont pas achevé leur croissance et leur poids représente alors 85 % à 95 % de leur poids adulte. Elles n'atteindront leur taille définitive que 1 à 2 années plus tard (Le Cozler et al., 2012).

Les traitements antiparasitaires sont utilisés dans 96 % des élevages. Le nombre moyen de vaccins ou de traitements reçus par animal est de $1,95 \pm 0,9$ (Le Cozler et al., 2012).

Près des deux tiers des éleveurs (62 %) trouvent que l'élevage des génisses est une nécessité, 36 % y trouvent du plaisir et 2 % trouvent que « *c'est une corvée* ». Le temps consacré aux génisses varie de façon importante, mais près de la moitié des éleveurs interrogés l'ont évalué à moins de 1 h/jour (Le Cozler et al., 2012).

Dans la conduite classique, les veaux sont séparés de leur mère rapidement après leur naissance pour être élevés en bâtiment jusqu'au sevrage vers 3 mois et sont mis à l'herbe à 9 mois. Les génisses sont inséminées et vêlent entre 24 et 36 mois.

1.2.2. Les différentes conduites des veaux avec des adultes

L'intérêt pour les systèmes alternatifs d'élevage des veaux laitiers, où la vache et le veau ne sont pas séparés dans les premières heures après le vêlage augmente depuis quelques années auprès des éleveurs et des consommateurs (Busch et al., 2017; Hötzel et al., 2017; Michaud et al., 2018 ; Knierim et al., 2020).

En France, une enquête a été réalisée auprès de 102 élevages en 2018 pour recenser les différentes pratiques permettant un contact entre le veau et une vache adulte (Michaud et al., 2018). La taille médiane des troupeaux est de 60 vaches laitières (8 à 210), principalement constitués de vaches de race Holstein et Montbéliarde. Les élevages sont pour moitié en AB (56%). La taille des exploitations est de 114 ha en moyenne (11 à 500 ha), avec 2,2 unité de travailleur humain (UTH) présentes par exploitation (0,5 à 8,5) (Michaud et al., 2018). En Norvège et en Suède, respectivement 18 % et 22 % des éleveurs de vaches laitières biologiques laissent en général les veaux avec leur mère durant la première semaine de vie et jusqu'à 13 semaines pour certains éleveurs (Johnsen et al., 2016).

En Europe, il existe une grande diversité de systèmes de contact vache-veau (Vaarst et al., 2020a). Il s'agit soit de la mère qui allaite son propre veau soit d'une autre vache laitière, dite nourrice, qui allaite plusieurs veaux à la fois. La conduite des veaux sous nourrices est plus généralement dédiée aux génisses de renouvellement alors que la conduite des veaux sous la mère est dédiée aux veaux destinés à la vente (Michaud et al., 2018). Le contact avec la mère peut être permanent ou restreint. Il n'existe pas de données suffisantes pour évaluer les différences entre les différents systèmes et peu d'études ont porté sur le système des vaches nourrices (Meagher et al., 2019).

1.2.2.1. *Le veau sous sa mère*

Dans le système de veaux sous la mère, la vache laitière allaite son veau biologique (Demeter, 2012 ; Kälber and Barth, 2014). Une grande diversité de pratiques existe au sein de ces élevages. Certains éleveurs couplent l'élevage sous la mère à la monotraite. Après la phase de prise colostrale, le veau peut être soit séparé de sa mère la journée et placé en parc collectif (contact restreint avec sa mère), soit laissé en permanence avec sa mère dans la stabulation.

L'élevage des génisses de renouvellement sous la mère peut être d'une courte durée, 10 jours en moyenne, avant de passer par une phase d'allaitement artificiel classique, ce qui est le cas pour 45 % des fermes françaises ayant participé à l'enquête de Michaud et al. (2018). Dans cette étude, 9 % des fermes préféreraient permettre aux génisses de renouvellement de rester sous la mère jusqu'au sevrage. La moitié des fermes (n = 55) de l'étude laissent aussi les veaux destinés à être vendus avec leur mère jusqu'à la vente (Michaud et al., 2018). L'objectif de l'élevage sous la mère, à court terme, est de permettre au veau d'acquérir une bonne protection immunitaire permise par une prise colostrale en quantité et qualité suffisantes dans le respect de son comportement naturel (Krohn, 2001).

1.2.2.2. *Les veaux sous nourrices*

Krohn (2001) définit la conduite des veaux sous nourrices comme l'adoption par une vache laitière non traite de 2 et 4 veaux qu'elle va allaiter jusqu'au sevrage. Cette conduite a fait l'objet d'études à partir des années 1960 notamment en France (Le Neindre et al., 1976). Ces essais ont toutefois été très vite oubliés dans le contexte de l'époque.

Pour la réalisation de cette conduite, il est préférable d'avoir des vêlages groupés sur une courte période de 1 à 2 mois, afin d'avoir des veaux d'âge similaire lors de l'adoption par la nourrice (Coquil et al., 2017; Pailler, 2017). Les éleveurs peuvent laisser le veau sous sa mère jusqu'à 3 jours afin de synchroniser les adoptions.

Les adoptions consistent donc à mettre entre 2 et 4 veaux en même temps sous la nourrice. Elle se fait en général dans des cases contenant uniquement la nourrice et ses veaux. Certaines études et certains éleveurs conseillent de mettre les veaux les plus jeunes possibles (Le Neindre et al., 1976 ; Pailler, 2017 ; Kent, 2020). L'adoption se fait en général dans la première semaine de vie (Brunet et al., 2016).

Les veaux pourront donc dès leur naissance être adoptés par une vache nourrice. Cependant, pour beaucoup d'éleveurs, la phase avec la mère est importante pour permettre une bonne immunité des veaux. Une phase optionnelle consiste à séparer le veau de sa mère rapidement après la naissance, et à le nourrir artificiellement avant l'adoption. En France, cette phase optionnelle est réalisée par 16 % des éleveurs qui élèvent leurs génisses de renouvellement avec des nourrices (Michaud et al., 2018).

L'adoption des veaux est souvent décrite comme étant la phase la plus technique et la plus importante de cette conduite (Vaarst et al., 2001 ; Demeter, 2012). Elle nécessite une attention particulière de la part de l'éleveur.

Afin de favoriser l'adoption des veaux par la vache nourrice, le caractère maternel de la vache destinée à être nourrice est stimulé par la séparation avec son propre veau (Coquil et al., 2017; Kent, 2020; Ripoché, 2020). Par ailleurs, des veaux mis en présence du veau biologique lors de l'adoption sont susceptibles d'être délaissés par la nourrice (Loberg, 2007). Les veaux peuvent être privés de tétée avant l'adoption afin de stimuler leur appétit. En fonction de l'acceptation des veaux par la nourrice, celle-ci peut être bloquée au cornadis et si cela ne suffit pas, une entrave peut être mise pour permettre aux veaux de téter (Coquil et al., 2017). En cas d'échec à l'adoption (au-delà de 15 jours), les éleveurs changent de nourrice. Les veaux qui sont passés par la phase d'allaitement artificiel peuvent avoir besoin d'être guidés par l'éleveur lors des 1^{ères} tétées à la nourrice (Vaarst et al., 2001).

Pour Loberg et Lidfors (2001), le stade de lactation de la nourrice et le fait qu'elle soit gestante ou non, n'a pas d'influence sur l'acceptation des veaux lors de la phase d'adoption. Les éleveurs français semblent préférer des vaches qui viennent de vêler car elles accepteraient mieux les veaux (Pailler 2017 ; Ripoché, 2020). D'autres éleveurs choisissent des primipares pour stimuler leur lactation (Grandin, 2015 ; Coquil et al., 2017 ; Aubry et al., 2018).

Dans tous les cas, la sélection des vaches nourrices est une question importante. Les éleveurs doivent idéalement sélectionner des vaches nourrices maternelles (Wagenaar et Langhout, 2007). Mais pour des raisons pratiques et économiques, les éleveurs préfèrent majoritairement sélectionner des vaches destinées à la réforme. Les critères de sélection sont variés : mauvaise conformation des trayons, boiteries, problèmes de reproduction, taux cellulaires élevés. Pour ce dernier point, la sélection des nourrices avec une mammite subclinique permet de valoriser leur lait tout en diminuant le taux cellulaire général du lait de tank (Kälber et Barth, 2014).

L'adoption est réussie lorsque la nourrice se laisse téter et qu'elle lèche les veaux. L'adoption prend moins d'une semaine dans la grande majorité des cas (Ripoché, 2020). Ensuite, les nourrices et les veaux sont regroupés dans une plus grande case ou directement au pâturage. A la mise à l'herbe, les veaux ont alors entre une semaine et 3 mois (Coquil, 2017 ; Pailler, 2017 ; Pezon, 2017).

Peu d'études se sont intéressées à la conduite des veaux sous nourrices au pâturage. Toutefois, un article publié dans une revue technique indique que les éleveurs pratiquent principalement un pâturage tournant afin d'améliorer la production laitière des nourrices, de permettre les repousses d'herbes et de diminuer le risque d'infestation parasitaire (Coquil et al., 2017). Une étude néerlandaise menée sur des veaux sous nourrices en AB a aussi décrit qu'aucun signe d'infestation parasitaire n'a été observé sur les jeunes animaux au pâturage, sans donner plus de détails (Wagenaar et Langhout, 2007).

Le sevrage et la séparation des veaux et des nourrices se font souvent simultanément. Ils peuvent s'effectuer à la fin de l'été, vers 4 à 6 mois d'âge, ou à la rentrée au bâtiment vers 8 à 12 mois d'âge c'est-à-dire à l'âge naturel de sevrage des veaux (Reinhardt et Reinhardt, 1981 ; Paillet 2017 ; Michaud 2018 ; Ripoche, 2020). Les veaux sont placés dans des bâtiments différents des nourrices ou dans le même bâtiment dans des cases plus ou moins éloignées. En raison du lien affectif fort, les veaux et les vaches meuglent en moyenne 2,4 jours ; selon les éleveurs le sevrage constitue un point négatif important de cette conduite (Langhout, 2003 ; Michaud et al., 2018 ; Veissier et al., 2013).

Un sevrage en deux étapes permet de réduire le stress au sevrage (Loberg et al., 2008). Ces auteurs ont observé chez des veaux âgés de 10 semaines que le port d'un anneau anti-tétée durant les 2 semaines précédant le sevrage permettait une baisse des vocalises, une baisse des déplacements et une baisse du rythme cardiaque lors de la séparation en comparaison à des veaux sevrés en une fois au même d'âge. Le contact physique permis à travers une barrière peut également atténuer la réaction comportementale à la séparation chez les veaux (Kälber et Barth, 2014 ; Johnsen et al., 2015).

L'élevage des veaux sous nourrices est souvent une bonne alternative à l'allaitement sous la mère car les jeunes veaux peuvent satisfaire leur besoin naturel de téter jusqu'à un sevrage tardif. Les avantages de l'élevage avec des vaches nourrices sont que les veaux vivent en groupe, en contact avec des vaches adultes et ont un comportement d'allaitement naturel (Loberg et Lidfors, 2001). Les difficultés de ce système surviennent lorsqu'une vache nourrice n'accepte pas les veaux lors de l'adoption mais ceci reste rare (Loberg et Lidfors, 2001).

La conduite des veaux sous nourrices consiste à faire adopter 2 à 4 veaux par une nourrice. Après cette phase importante, la mise à l'herbe peut être précoce avant les 3 mois du veau tandis que le sevrage et la séparation peuvent être tardifs (jusqu'à 12 mois). Cette conduite est facile à mettre en place.

1.3. Les impacts de la conduite des veaux avec des adultes

Les impacts mentionnés concernent principalement les veaux sous nourrices. Si ce n'est pas le cas par manque de précision des auteurs, cela sera mentionné.

1.3.1. Impacts sanitaires

1.3.1.1. Impacts sanitaires sur les veaux

Les veaux sous nourrices reçoivent moins d'antibiotiques suggérant un meilleur état de santé et une meilleure résistance aux agents infectieux que les veaux élevés classiquement (Kälber et Barth, 2014). De manière générale, la conduite des veaux en contact avec des adultes semble diminuer la mortalité des veaux (Everitt et al, 1968, Alvarez et al., 1980 ; Quigley et al., 1995 ; Boonbrahm et al. 2004). Selon Wagenaar et Langhout (2007), l'incidence des maladies et le taux de mortalité des veaux sous nourrices seraient inférieurs à ceux des veaux élevés classiquement. Par exemple, une diminution de la fréquence des diarrhées a été mentionnée par 80 % des éleveurs français conduisant leurs veaux avec des vaches adultes (Michaud et al. 2018) en accord avec les résultats d'autres études à l'étranger (Carias et Vaccaro, 1984 ; Nocek et al., 1984 ; Rajala et Castrén, 1995 ; Weary et Chua, 2000 ; Boonbrahm et al., 2004 ; Wagenaar et Langhout, 2007).

La quantité, la qualité et la rapidité de l'administration du colostrum sont les éléments essentiels pour un bon transfert de l'immunité passive (Godden, 2008). Une bonne prise colostrale diminue significativement le nombre de diarrhées (Kunz et al., 2009). D'après la méta-analyse de Beaver et al. (2019), une séparation précoce n'a pas d'impact sur le statut immunitaire du veau en comparaison à une séparation tardive. Le point fondamental est la vérification du bon transfert de l'immunité passive

par l'éleveur. Ainsi, l'augmentation du temps passé dans la case de vêlage est associée à une diminution de l'absorption des immunoglobulines, probablement parce que de nombreux veaux ne tètent pas dans les premières heures après la naissance (McAloon et al., 2016). Sur le plan de la physiologie digestive, la présence de la mère permet au veau de têter de manière répétée, dans des quantités plus faciles à digérer et à température optimale (Kalber et Barth 2014).

Les éleveurs français et néerlandais pointent cependant certaines limites sanitaires de la conduite des veaux sous nourrices en raison d'un transfert de maladies possible entre les veaux et les vaches (Wagenaar et Langhout 2007 ; Michaud et al., 2018). L'une des préoccupations majeures est le risque de transmission de la paratuberculose par la voie mammaire ou oro-fécale dans un environnement contaminé (Lombard, 2011). Là encore, la méta-analyse de Beaver et al. (2019) ne conclut pas à un risque particulier établi d'augmentation de la prévalence de la paratuberculose des veaux en contact avec des vaches adultes.

Concernant les maladies respiratoires, la majorité des études ne trouvent pas d'association particulière avec la conduite veaux en contact avec des adultes (Krohn et al., 1999 ; Svensson et al., 2003 ; Lundborg et al., 2005). Un risque plus élevé de pneumonie pour les veaux gardés plus de 24 heures avec la mère a cependant été mentionné par Gulliksen et al. (2009) alors que Boonbrahm et al. (2004) notent une incidence plus faible chez les veaux en présence d'adultes. Des recherches supplémentaires concernant spécifiquement les pathogènes respiratoires sont nécessaires pour pouvoir conclure (Beaver et al., 2019).

La conduite des veaux sous nourrices semble être bénéfique pour la santé des veaux au travers notamment d'une faible incidence des diarrhées et de la mortalité mais les données restent très peu précises.

1.3.1.2. Impacts sanitaires sur les vaches

Les éleveurs choisissent souvent des vaches nourrices avec des taux cellulaires élevés afin de diminuer le niveau moyen de cellules du lait de tank (Kälber et Barth, 2014). Une diminution de l'incidence des mammites subcliniques a été constatée durant une période d'allaitement d'un ou de plusieurs veaux ou pendant la période entre le sevrage et le tarissement (Krohn, 2001 ; Grøndahl et al., 2007 ; Fröberg et al., 2008 ; Kälber et Barth, 2014 ; Johnsen et al., 2016 ; Michaud et al., 2018 ; Beaver et al., 2019). L'allaitement des veaux pourrait avoir un effet curatif sur les mammites subcliniques car les veaux ingèrent beaucoup de lait ce qui permet de garder la mamelle vide (Sandoval-Castro et al., 1999 ; de Passillé et al., 2008 ; Fröberg et al., 2008) et par une action des lysozymes présents dans la salive des veaux inhibant le développement bactérien (Mdegela et al., 2004).

L'allaitement pourrait aussi avoir un effet négatif sur l'état de la mamelle à cause des contaminations croisées, causées par les veaux tétant plusieurs nourrices (Wagenaar et Langhout, 2007). En outre, les trayons de vaches nourrices allaitant 3 ou 4 veaux présentent plus de lésions que ceux des vaches n'ayant que 2 veaux ou que ceux des vaches traitées mécaniquement (Thomas et al., 1981).

Les éleveurs norvégiens ont constaté qu'il y avait moins de non-délivrances et moins de fièvres de lait lorsque le veau restait avec la mère (Vaarst et al., 2020a).

1.3.2. Impacts zootechniques

1.3.2.1. Impacts zootechniques sur les veaux

Une meilleure croissance des veaux est souvent le premier bénéfice évoqué par les éleveurs français pratiquant la conduite des veaux sous nourrices (Michaud et al., 2018 ; Coquil et al., 2017 ; Ripoché 2020) en accord avec de nombreuses études à l'étranger (Krohn, 2001 ; Wagenaar et Langhout, 2007 ; Kälber et Barth, 2014 ; Meagher et al. 2019).

En France, un essai expérimental à l'INRAE de Mirecourt (Vosges) indique que les veaux élevés sous nourrices ont une croissance plus élevée les trois premiers mois de vie par rapport aux veaux élevés classiquement sur la même période (832 et 594 g/jour respectivement) (Brunet et al, 2016). De façon similaire, des éleveurs anglais indiquent des différences de 40 kg supérieures pour des veaux sous nourrices à l'âge de 6 mois (Thymen et Miniou, 2012 ; Pailler, 2013). Ces croissances élevées sont le résultat d'une plus grande consommation de lait (Meagher et al. 2019).

Les veaux élevés sous leur mère ou sous une nourrice ingèrent 6,5 litres par jour à l'âge d'une semaine et 12,5 litres par jour à 9 semaines en comparaison des 5 à 8 litres par jour aux mêmes âges, en élevage classique (Jasper et Weary 2002 ; de Passillé et al., 2008 ; Moran, 2012). Dans ce dernier système, le volume distribué aux veaux est restreint afin de favoriser l'ingestion d'aliments solides.

D'après la méta-analyse de Meagher et al. (2019), la majorité des études ont rapporté que les bénéfices en termes de croissance pendant la période d'allaitement étaient maintenus plusieurs semaines voire plusieurs mois après le sevrage. Or, il est établi qu'une croissance élevée au cours des 6 premiers mois est bénéfique pour la croissance et la production laitière ultérieures (Le Cozler et al., 2009 ; Khan et al., 2011). Il est ainsi probable que la durée et la qualité de l'allaitement induites par l'élevage des veaux avec des adultes aient un impact sur la production laitière future (Meagher et al. 2019).

Toutefois, certaines études font état d'une croissance réduite des veaux élevés par leur mère dans les semaines qui suivent immédiatement le sevrage (Wagenaar et Langhout, 2007 ; Koczura et al., 2020). Ce résultat pourrait être dû à la rupture du lien maternel en particulier lors de sevrages brutaux (Jasper et al., 2008 ; Newberry et Swanson, 2008). De plus, le sevrage brutal est un facteur de stress bien identifié (Johnsen et al., 2016 ; Meagher et al. 2019).

De nombreuses études indiquent la possibilité d'obtenir des vêlages précoces (24 mois) pour les veaux élevés sous nourrices (Langhout et Wagenaar, 2006; Coquil et al., 2017). Dans les systèmes avec des vêlages groupés, cela permet d'anticiper la mise à la reproduction jusqu'à une année. Cela a été notamment le cas dans l'installation expérimentale de Mirecourt qui a ainsi réduit le nombre de génisses non productives (Coquil et al, 2017).

Les taux de réussite des génisses à la première insémination semblent aussi plus élevés chez les génisses élevées avec leur mère. L'indice d'insémination (soit le nombre d'inséminations divisé par le nombre de vaches) est plus faible (Johnsen et al, 2016). Une étude a également montré que les primipares élevées sous nourrices étaient significativement plus productives que celles élevées classiquement (Langhout et Wagenaar 2006).

1.3.2.2. Impacts zootechniques sur les vaches nourrices

L'allaitement semble s'accompagner d'une augmentation de la production laitière d'environ 20 % (Bar-Pelled et al., 1995; Krohn, 2001 ; Negrão et Marnet, 2002). Les vaches qui ont allaité pendant les deux premiers mois de leur lactation ont une production laitière plus élevée pendant le reste de leur lactation (Kälber et Barth, 2014).

La tétée des veaux permet la vidange complète de la mamelle et induit une plus grande libération d'ocytocine et de prolactine que lors d'une traite, ce qui favorise le développement mammaire et l'augmentation de la production de lait (Krohn, 2001 ; de Passillé et al., 2008). Cette augmentation est aussi permise par une meilleure santé de la mamelle pendant et après la période d'allaitement (Krohn, 2001).

Les vaches laitières sont de fortes productrices et possèdent des mamelles profondes ou basses qui peuvent être inadaptées à l'allaitement d'un veau. De plus, ces vaches produisent tellement de lait que le veau sous sa mère risque d'en boire trop, comme l'ont soulevé plusieurs éleveurs dans les différents pays (Vaarst et al., 2020a). Il est courant d'utiliser les mêmes races hautes productrices dans la production biologique qu'en conventionnelle, alors que l'AB a besoin d'animaux robustes, adaptables localement, capables d'utiliser pleinement les ressources locales (Vaarst et al., 2020b). Or, la théorie d'allocation des nutriments met en évidence la nécessité de prendre en compte les compromis existants entre plusieurs fonctions biologiques (Friggens et Newbold, 2007). Ainsi, des années de sélection génétique orientée vers la fonction de production laitière ont contribué à prioriser l'allocation des nutriments vers cette fonction au détriment d'autres fonctions biologiques telles que la reproduction ou le maintien des réserves corporelles. Ceci se traduit aujourd'hui par l'existence de corrélations génétiques négatives entre production laitière et fertilité chez les races les plus productives telles que la Holstein (Pryce et al., 2009).

La reproduction semble être différemment impactée selon le type d'allaitement mis en place. L'allaitement restreint ou sur une courte période n'influence pas la fertilité de la nourrice ou de la mère contrairement à l'allaitement sur une longue période (Krohn, 2001). En effet, un allaitement prolongé, allonge la période d'ancestrus de 13 à 25 jours (Thomas et al., 1981 ; Krohn 1990). Malgré ce décalage des premières chaleurs après vêlage, l'intervalle vêlage-vêlage diminue car l'intervalle première insémination-insémination fécondante diminue (Bar-Peled et al., 1995). En revanche, peu d'études se sont intéressées à l'évolution de l'état corporel des vaches élevant un ou plusieurs veaux. Or, l'état corporel, couplé à l'allaitement, influence la reproduction et la fertilité de la vache en race Holstein (Bar-Peled et al., 1995).

1.3.3. Impacts sur le comportement

Un nombre important d'études souligne les avantages pour les veaux dans des systèmes permettant le contact avec des vaches adultes, d'avoir accès aux soins maternels, à l'apprentissage et à la socialisation (Meagher et al. 2019 ; Vaart et al., 2020).

1.3.3.1. Une conduite plus naturelle

Dans les conditions naturelles, les bovins vivent en troupeaux et synchronisent leurs activités telles que le pâturage, la rumination et le repos (Vaarst et al., 2020a). Au vêlage, la vache s'isole et le veau laissé seul et se cache pendant que la mère pâture (Kilgour et Dalton, 1984 ; Vitale et al., 1986 ; Langbein et Raasch, 2000). Lorsque la vache revient dans le troupeau avec son veau, le veau est léché et allaité par sa mère cinq à neuf fois par jour pendant les premières semaines (Jensen, 2011 ; Fröberg et Lidfors, 2009). Le lien est à la fois nutritionnel et social ; il englobe l'apprentissage et l'échange de comportements d'affiliation (Newberry and Swanson, 2008 ; Vaarst et al., 2020a).

La vache sèche naturellement son veau âgé de 7 à 12 mois coïncidant à une diminution naturelle de la production de lait (Reinhardt et Reinhardt, 1981 ; Nielsen et al., 2016). De nombreux éleveurs considèrent que les systèmes de contact vache-veau répondent aux besoins naturels des veaux (Vaarst et al., 2020a).

Des comportements anormaux stéréotypés (tétée à vide entre animaux ou sur des objets) sont généralement observés lorsque le veau est allaité de manière artificielle 1 à 2 fois par jour avec des quantités de lait limitées (Johnsen et al., 2016). Ces comportements sont liés à un besoin de succion non satisfait (de Passillé, 2001) ou à la faim (Herskin et al., 2010). Ils sont considérablement diminués dans les systèmes des veaux sous nourrices (Laukkanen et al., 2010) ou sous la mère (Hilman et al., 2012).

De même, les veaux séparés de leur mère ont une activité de léchage importante, qui peut être une compensation de l'absence de léchage et de toilettage maternels (Mandel et Nicol, 2017), ce qui est peu observée chez les veaux avec leur mère pendant les 4 premiers jours (Lidfors, 1996).

1.3.3.2. *Le lien maternel et la relation homme-animal*

Le comportement maternel se caractérise par des comportements d'affiliation : léchage du veau, proximité constante, protection du veau (Wagenaar et Langhout, 2007 ; Vaart et al., 2020). Les premières heures qui suivent la naissance sont considérées comme cruciales pour le développement du lien maternel et la tétée représente l'élément principale (Lensink et Leruste, 2012 ; Broom et Fraser, 2015). Toutefois, si le veau est séparé de sa mère dans les jours qui suivent la naissance, il est possible que la vache développe une relation maternelle avec un ou plusieurs veaux du même âge.

L'adoption d'autres veaux sera plus difficile si la vache nourrice garde son propre veau (Kent, 2020). Une vache nourrice est considérée comme lié à un veau, si celui-ci est autorisé à téter dans la position parallèle inverse et si la vache le lèche quotidiennement (Sirovnik et al., 2020).

Certains éleveurs craignent que la relation homme - animal soit affaiblie dans ces systèmes où l'homme ne donne plus le lait aux veaux et que les génisses deviennent difficiles à manipuler à l'insémination ou à la traite. De même, la vache allaitante pourrait avoir un comportement agressif envers les humains pour défendre les veaux (Vaarst et al., 2020a). Krohn et al. (1999) mentionnent en effet, que des veaux laissés avec leur mère pendant 4 jours sont plus difficiles à approcher à l'âge de 15 à 18 mois. En réponse à cela, les éleveurs font attention à maintenir le lien en passant du temps auprès des génisses (Pailler, 2013 ; Gouérec, 2014 ; Bignon, 2017 ; Ripoché, 2020).

1.3.3.3. *Comportement social et apprentissage*

La mère est le principal modèle social du veau. Les congénères jouent également un rôle important dans le comportement au pâturage ou lors de la sélection des aliments (Hessle, 2009). L'apprentissage social est plus efficace et plus facile s'il est effectué dès le plus jeune âge du veau (Veissiera et al, 1998).

Plusieurs éleveurs mentionnent que les vaches apprennent aux veaux à brouter, à ne pas toucher les clôtures, à aller à l'ombre, à suivre les chemins et certains éleveurs résumant cela par « *apprendre à être une vache* » (Vaarst et al, 2020a).

Une fois adultes, les vaches élevées sous la mère sont plus actives dans l'exploration du pâturage que celles élevées classiquement (Wagner et al., 2015). Cependant, peu d'études ont été réalisées sur les comportements des vaches adultes élevées sous la mère ou la nourrice.

1.3.4. Impacts organisationnels, économiques et sociétaux

1.3.4.1. *Organisation générale de la ferme*

La conduite des veaux sous nourrices s'intègre bien dans l'organisation générale des fermes biologiques basées sur une maximalisation du pâturage.

L'organisation de l'installation expérimentale de Mirecourt mise en place dans le cadre du projet TEMPO en 2016, reflète bien une conduite d'élevage des veaux sous nourrices type. L'organisation de la structure s'appuie sur une conduite exclusivement herbagère pour un troupeau d'environ 90 vaches

laitières et de renouvellement. Les vêlages sont essentiellement groupés au printemps. La monotraite se fait toute l'année. Il y a des croisements de races laitières. Et, l'élevage des génisses de renouvellement s'effectue avec une dizaine de vaches nourrices (Conquil et al., 2017). Il en résulte une diminution de l'astreinte quotidienne pour les veaux, une amélioration des croissances des génisses et l'obtention des premiers vêlages à l'âge de 24 mois.

Le croisement des races laitières, à partir d'un troupeau composé de vaches Holstein et Montbéliarde, vise à améliorer, par l'effet d'hétérosis, des caractères peu héréditaires des animaux, tels que la fécondité et la fertilité afin d'augmenter les performances de reproduction du troupeau. Cette organisation combinant ces différents éléments vise à améliorer la productivité du travail par heure travaillée dans un système très économe et très autonome (Coquil et al., 2017).

1.3.4.2. Conditions de travail

Une des principales raisons qui a poussé les éleveurs français à mettre en place la conduite de veaux sous nourrices ou sous la mère concerne le travail : diminution du temps de travail (cité par près de la moitié des éleveurs) et amélioration des conditions de travail (cité par un tiers des éleveurs) (Michaud et al., 2018). Le travail des éleveurs qui ont mis en place l'élevage des veaux sous nourrices s'est fortement transformé et nécessite de nouveaux savoir-faire avec une augmentation de l'observation des animaux (Coquil et al., 2017). En effet, les éleveurs doivent avoir confiance en la capacité de la vache à s'occuper des veaux et en la capacité des veaux à vivre dans un système laitier complexe. Les éleveurs doivent être capables d'observer et de juger chaque situation plus ou moins complexe. Parallèlement, ils ne sont plus contraints à alimenter quotidiennement et minutieusement les veaux (quantité de lait, températures, nettoyage, régularité) (Vaarst et al., 2020a). Les éleveurs de veaux sous la mère soulignent en fait la nécessité de repenser le temps de travail plutôt que d'espérer sa diminution. Il s'agit de passer plus de temps avec les veaux pour notamment développer la relation homme - animal (Vaarst et al., 2020a).

1.3.4.3. Impacts économiques

Le coût d'élevage d'une génisse laitière de remplacement en élevage conventionnel est estimé entre 1000 et 1300 € (hors main d'œuvre) en France (Le Cozler et al., 2012). Une réduction de l'âge du vêlage de 32 mois à 27 mois peut réduire les coûts d'environ 220 € par génisse, réduire le nombre d'animaux sur l'exploitation et réduire la période improductive des animaux (Hénot, 2006). Cela est possible par la recherche d'une forte croissance dès naissance jusqu'à atteindre 200 kg à 6 mois (Le Cozler et al., 2012). La diminution des coûts d'élevage est l'une des raisons, citée par un tiers des éleveurs français, pour la mise en place d'une conduite de veaux avec des vaches adultes (Michaud et al., 2018).

1.3.4.4. Réponses aux attentes sociétales

Le grand public est de plus en plus soucieux des conditions d'élevage des animaux. La demande d'une alimentation provenant de systèmes plus respectueux du BEA est en hausse (Placzek et al., 2021). Bien que l'élevage laitier bénéficie d'une image positive (Placzek et al., 2021), le public n'est pas informé des nombreuses pratiques comme le zéro-pâturage, l'attache, l'écornage, la vente des veaux mâles et la séparation précoce des vaches et des veaux (Ventura et al., 2013 ; 2016 ; Placzek et al., 2021). La plupart des personnes interrogées n'ont pas connaissance ou s'opposent à la manière dont sont élevés les veaux laitiers (Placzek et al., 2021). Au cours des dernières années, la séparation vache - veau a fait l'objet d'une prise de conscience. Cette pratique est principalement rejetée car elle est considérée comme non naturelle, stressante pour les animaux, et induisant des comportements stéréotypés tels que des phénomènes anormaux de tétée entre veaux (Busch et al., 2017). Globalement, les attentes sociétales sont donc centrées autour d'un retour à l'alimentation naturelle des veaux laitiers (Busch et al., 2017) avec une séparation plus tardive entre le veau et sa mère (Grøndahl et al, 2007 ; Hötzel et al., 2017).

Les attentes sociétales sont pour les éleveurs français et européens un argument motivant à la mise en place de systèmes de contact veaux-vaches (Langhout and Wagenaar, 2004 ; Michaud et al., 2018 ; Vaarst et al., 2020a). En effet, les systèmes d'élevages veaux - vaches peuvent apporter de la satisfaction, de la fierté et de la motivation aux éleveurs. Ces systèmes améliorent la qualité de leur travail (Vaarst et al., 2020a). Le consommateur est prêt à payer un prix plus élevé pour des produits issus des systèmes d'élevage où les veaux sont avec des vaches adultes. Cela pourrait être une source supplémentaire de motivation pour les éleveurs laitiers à mettre en place de tel systèmes (Placzek et al., 2021).

1.4. Annonce du 1^{er} objectif de la thèse

La conduite des veaux laitiers sous nourrices se développe notamment dans le quart Nord-Ouest de la France (Michaud et al., 2018 ; Ripoche, 2020). Cette pratique est décrite par les éleveurs français à travers des articles techniques. De nombreux articles scientifiques et des revues sont publiés sur les systèmes de contact veaux-vaches mais concernent principalement l'élevage des veaux sous la mère, alors que très peu d'études scientifiques portent sur la conduite des veaux sous nourrices mise en place dans les élevages biologiques et sur ses différents impacts.

Les questions qui se posent sont les suivantes : Comment cette pratique a-t-elle été introduite puis s'est-elle développée en France ? Quelles sont les motivations des éleveurs à mettre en place un tel système ? Quelles sont les difficultés rencontrées et les solutions mises en place par les éleveurs ? Comment réalisent-ils cette pratique au quotidien ? Comment perçoivent-ils ce système et ses impacts sur l'organisation de la ferme ainsi que sur la santé et la production de leurs animaux ?

Le 1^{er} objectif de la thèse est d'expliquer pourquoi et comment les éleveurs ont mis en place la conduite de veaux sous nourrices, de décrire cette pratique au sein de leur exploitation laitière biologique dans le nord-ouest de la France et d'évaluer la perception qu'ils en ont.

2. La cryptosporidiose des veaux

2.1. Généralités sur *Cryptosporidium* spp.

Les parasites du genre *Cryptosporidium* spp. sont des protozoaires des cellules épithéliales de l'intestin appartenant au phylum des Apicomplexa. On dénombre 26 espèces de ce genre dont une vingtaine chez les mammifères (Chalmers et Katzer, 2013 ; Ryan et al., 2014). La plupart des espèces de *Cryptosporidium* spp. ont une forte spécificité d'hôte (Appelbee et al., 2005). Cependant, l'espèce *Cryptosporidium parvum* a été identifiée chez 152 espèces de mammifères, ce qui illustre une absence de spécificité d'hôte pour cette espèce (Fayer et al., 2000, 2010). Les outils de biologie moléculaire ont montré des variations intra-espèces en particulier pour les espèces *C. hominis*, *C. parvum* et *C. meleagridis*, permettant de définir des sous-types au sein de ces espèces à partir de la séquence du gène qui code pour la glycoprotéine de 60 kDa (gp60) (Alves et al., 2003 ; Xiao et Ryan, 2004 ; Chalmers et al., 2005 ; Gatei et al., 2007, Xiao et al., 2007 ; Hijjawi, 2010). La cryptosporidiose est une zoonose et les espèces rencontrées chez l'homme immunocompétent sont principalement *C. hominis* et *C. parvum* (Olson et al., 2004).

Le premier cas rapporté de cryptosporidiose bovine fut publié en 1971, chez une génisse de 8 mois atteinte de diarrhée chronique (Pancieria et al., 1971). De nombreux cas de cryptosporidiose bovine ont par la suite été recensés à travers le monde. Les principales espèces retrouvées chez les bovins sont *C. parvum*, *C. bovis*, *C. ryanae* et *C. andersoni* (Feng et al., 2018). D'autres espèces ont été observées chez les bovins comme *C. felis* mais restent peu fréquent (Cardona et al., 2015). *C. parvum* est l'un des principaux agents des diarrhées néonatales des veaux âgés de moins d'un mois (Trotz-Williams et al., 2007). *C. bovis*, *C. andersoni* et *C. ryanae* sont occasionnellement à l'origine de diarrhée chez les veaux, et sont généralement moins pathogènes et présents chez les jeunes bovins sevrés et les bovins adultes.

2.1.1. Biologie de *Cryptosporidium*

Les espèces du genre *Cryptosporidium* sont des parasites intracellulaires obligatoires (Fayer et Xiao, 2007). Le cycle biologique est monoxène. Ce cycle débute par l'ingestion d'ookystes présent dans l'environnement et se poursuit par des phases de multiplication asexuée et de reproduction sexuée (**Figure 2**), (Naciri et al., 2007 ; Ryan and Hijjawi, 2015).

Ainsi, après ingestion (**Figure 2, a**), la paroi de l'ookyste se rompt et libère 4 sporozoïtes (**b**) sous l'action de la trypsine et des sels biliaires présents dans le jéjunum et l'iléon. Les sporozoïtes se fixent alors sur la bordure en brosse des cellules épithéliales du tractus gastro-intestinal et forment un trophozoïte en se logeant dans une vacuole parasitophore constituée par la membrane plasmique de ces cellules épithéliales (**c**). Le cycle de multiplication se poursuit par des phases de multiplication asexuée appelées mérogonie (ou schizogonie). Le trophozoïte évolue en méronte de type I (**d et e**), qui contient huit cellules filles, les mérozoïtes de type I. Ces mérozoïdes de type I peuvent produire d'autres mérontes de type I, ou former des mérontes de type II qui envahissent les cellules épithéliales voisines (**f**). Après deux cycles de multiplication asexuée, les mérozoïtes de type II se différencient en microgamontes mâles (**g**) ou macrogamontes femelles (**h**) 48 heures post-infection. Il s'agit de la phase de gamétogonie sexuée du cycle (Juraneck, 2000).

La fécondation des macrogamètes par les microgamètes aboutit à la formation de zygotes (**i**) ou ookystes. Ces ookystes sont émis directement sporulés dans la lumière intestinale et sont donc directement infectants pour un hôte sensible. Deux types d'ookystes sont formés : ceux à paroi épaisse (80 %) qui constituent la forme de résistance et de transmission, éliminés dans les selles de l'hôte (**j**)

et ceux à paroi fine (20 %) qui participent au phénomène d'auto-infection (excystation *in situ*) chez le même hôte (k), (Juraneck, 2000).

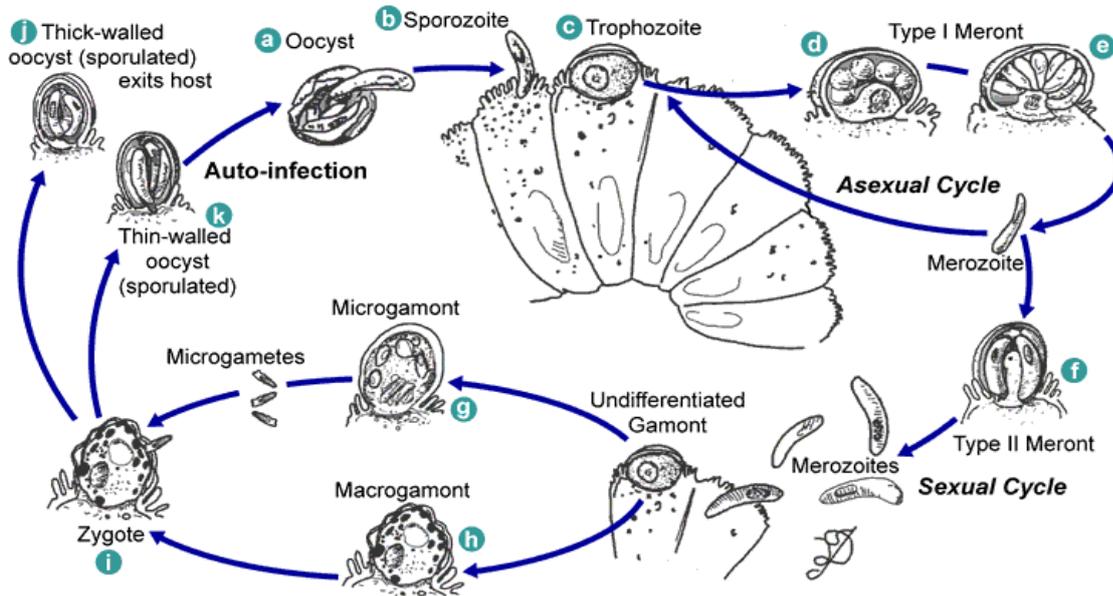


Figure 2 : Cycle biologique de *Cryptosporidium* spp. d'après Juraneck, 2000.

La période pré-patente, qui correspond au délai entre l'ingestion d'oocystes et le début de l'excrétion des oocystes dans les matières fécales est d'environ 4 jours pour *C. parvum* (Fayer et Xiao, 2007). La durée d'excrétion des oocystes, c'est-à-dire la période patente, est comprise entre 1 et 12 jours (Fayer et Xiao, 2007 ; Zambriski et al., 2013) mais peut durer plusieurs mois suivant l'immunocompétence de l'hôte et suivant l'espèce de *Cryptosporidium* (O'Donoghue, 1995 ; Fayer, 2004).

Les oocystes excrétés dans les matières fécales représentent la forme de résistance du parasite dans le milieu extérieur. Leur paroi tri-lamellaire et épaisse résiste aux perturbations physiques, chimiques et mécaniques des conditions environnementales. Les oocystes de *C. parvum* peuvent rester viables et infectieux dans l'eau pendant plus de 6 mois à des températures comprises entre 0 et 30 °C (Fayer et Xiao, 2007 ; Chalmers et Giles, 2010). Dans les matières fécales des veaux, les oocystes persistent pendant 6 mois à une température ambiante et pendant plus d'un an entre 4 et 6 °C. En effet, les matières fécales protègent les oocystes de la dessiccation et des autres conditions environnementales (Robertson et al., 1992; Chalmers et Giles, 2010). La terre et la végétation protègent également les oocystes en atténuant l'effet des agents physico-chimiques leur permettant ainsi de persister davantage dans le sol que dans l'eau (Atwill et al., 1998 ; Betancourt et Rose, 2005). Le sol sur lequel s'accumulent les matières fécales animales contenant des oocystes de *Cryptosporidium* spp. constitue donc un réservoir durable d'oocystes infectants.

L'action des désinfectants comme les hypochlorites, le chlorure de benzalkonium, les dérivés iodés est limitée (Campbell et al., 1982) bien que des associations commerciales de molécules disposent aujourd'hui d'un agrément officiel comme désinfectants vis-à-vis de *Cryptosporidium* (Kenocox®, eopredisan®, Aldecoc®, etc.). Seuls, l'ammoniac à 5 %, le formaldéhyde à 10 % et le peroxyde d'hydrogène à 50 % ainsi que les températures inférieures à - 20 °C et supérieures à 60 °C peuvent réellement détruire les oocystes (Chartier, 2002 ; Chalmers et Giles, 2010).

2.1.2. Conséquences physiopathologiques et cliniques

C. parvum est la principale espèce responsable de cryptosporidiose clinique chez le veau (Trotz-Williams et al., 2005 ; Karanis et al., 2007 ; Quílez et al., 2008 ; Santín et al., 2008). Un veau atteint de cryptosporidiose présente une diarrhée souvent jaunâtre et nauséabonde, plus ou moins sévère, avec parfois la présence de mucus ou de sang. La diarrhée s'étale sur quelques jours, parfois plus, en raison des possibles réinfections. La sévérité de la diarrhée est liée à la quantité d'ookystes dans les fèces (Fayer et al., 1998 ; Trotz-Williams et al., 2007, 2005). Les pertes hydriques causent une déshydratation dont la sévérité est évaluée en fonction de l'enfoncement du globe oculaire et de la persistance du pli de peau ; et un état d'acidose objectivé par un abattement et une diminution du réflexe de succion. Le veau a généralement une baisse d'appétit provoquant un amaigrissement et des retards de croissance si la diarrhée persiste. (Tzipori et al., 1983 ; de Graaf et al., 1999 ; Chartier, 2002 ; Fayer, 2004 ; Fayer et Xiao, 2007). La maladie évolue en quelques jours vers la guérison ou la mort de l'animal (de Graaf et al., 1999). Chez les bovins adultes, on retrouve principalement l'espèce *C. andersoni*. Cette dernière n'est pas associée à de la diarrhée mais pourrait avoir un impact négatif sur la production laitière (Esteban et Anderson, 1995 ; Lindsay et al., 2000 ; Santín et al., 2004, 2008).

Les sporozoïtes de *C. parvum* envahissent les cellules épithéliales intestinales de l'iléon et du jéjunum. La multiplication du parasite est responsable d'une augmentation de la perméabilité intestinale et des fuites d'eau, d'une destruction des villosités intestinales entraînant une réduction de la surface totale de la muqueuse intestinale (Wyatt et al., 2010). L'acidose est liée aux pertes fécales de bicarbonates, à l'hypoperfusion des tissus (déshydratation) et à la production d'acide lactique dans le gros intestin (fermentations bactériennes). L'acidose crée un effet osmotique qui attire l'eau dans l'intestin et contribue à la diarrhée. La sévérité de l'infection à *Cryptosporidium spp.* dépend de l'espèce de parasite, de l'état du système immunitaire de l'hôte et de la dose infectante (Fayer et al., 2005, 2008). Une co-infection entre *C. parvum* et des virus (Rotavirus, Coronavirus) peut augmenter la sévérité de la diarrhée (Smith, 2008 ; Al Mawly et al., 2015).

2.1.3. Immunité

L'immunité cellulaire joue un rôle essentiel dans la réponse de l'hôte à l'infection par *Cryptosporidium spp.* en faisant intervenir les lymphocytes T CD4⁺ et CD8⁺, les cytokines de type interleukine-12 et les interférons- γ (Fayer et al., 1998). Cette immunité se développe rapidement après la première infection. Les veaux n'excrètent alors plus de grande quantité d'ookystes et ne présentent plus de diarrhée par la suite (Harp et al., 1990). Une excrétion résiduelle, sans signe clinique, est néanmoins présente chez les animaux plus âgés (Chartier, 2002).

Bien que certaines études aient montré l'intérêt d'une administration d'un colostrum enrichi en anticorps après l'immunisation des mères en fin de gestation vis-à-vis d'une protéine recombinante (rC7) de *C. parvum* (Perryman et al., 1999), il est admis que les anticorps anti-*Cryptosporidium* présents dans le colostrum ne sont pas directement protecteurs vis-à-vis de la cryptosporidiose (Wyatt et al., 2010). De manière indirecte, un bon transfert d'immunité passive peut avoir un impact sur la cryptosporidiose car il peut prévenir d'autres infections virales ou bactériennes responsables de diarrhées néonatales qui favoriseraient ou compliqueraient l'infection par *C. parvum* (Gomez et Chamorro, 2017).

2.1.4. Diagnostic

Un diagnostic ne peut être établi sur la clinique car de nombreux agents pathogènes peuvent être responsables de diarrhées néonatales (colibacillose à *E. coli* entérotoxigènes, Rotavirus, Coronavirus, salmonelles, les toxi-infections à *Clostridium spp.*, etc.). Le diagnostic de laboratoire s'appuie sur la mise en évidence et la quantification des ookystes dans les matières fécales prélevées

directement dans le rectum du veau. En raison de leur très petite taille (5x4,5 µm), l'observation des ookystes ne sera possible généralement qu'après coloration ou immunomarquage. L'identification des espèces et des sous-types nécessite la mise en œuvre de techniques moléculaires telles que la PCR ou l'hybridation *in situ* par exemple (Wyatt et al., 2010). Afin d'améliorer la sensibilité des techniques (notamment pour des matrices pauvres comme les fèces d'animaux faibles excréteurs, les eaux, l'environnement), des étapes de concentration et de purification plus ou moins sophistiquées peuvent être mise en œuvre (flottation, sédimentation, séparation immunomagnétique...) (Coklin et al., 2011). La technique de concentration préalable par sédimentation à l'acétate d'éthyle est très intéressante car lorsqu'elle est couplée à l'immunofluorescence, elle permet d'atteindre une sensibilité théorique de 100 ookystes par gramme mais, sa réalisation est très lourde en raison des nombreuses centrifugations à réaliser (Castro-Hermida et al., 2005).

Différents types de techniques, décrites dans les paragraphes suivants, sont couramment mises en œuvre sur les fèces de ruminants.

La flottation au sucrose phénol consiste à mélanger une goutte de fèces à une goutte de sucrose puis d'examiner le mélange entre lame et lamelle au microscope optique au grossissement 200. La lecture est difficile et les ookystes sont rapidement détruits dans le liquide hypertonique (Chartier et Paraud, 2010).

La coloration de Ziehl-Neelsen modifiée et la coloration de Heine sont deux méthodes de coloration très utilisées dans le diagnostic de routine notamment à partir de frottis fécaux fixés sur une lame (Chartier et Paraud, 2010). Ces deux colorations sont peu coûteuses. Elles peuvent être combinées à une évaluation semi-quantitative en attribuant un score de 0 à 5 en fonction du nombre d'ookystes observés par champ microscopique (Chartier et al., 2013). Leur manque de sensibilité est compensé par les niveaux élevés d'excrétion lors des diarrhées néonatales (Wyatt et al., 2010). La coloration de Ziehl-Neelsen modifiée consiste à colorer le frottis fécal avec de la fuchsine, puis à le décolorer avec de l'acide sulfurique et enfin à le recolorer avec du vert de Malachite. Les ookystes apparaissent rouge vif sur fond vert au microscope optique (Polack et al., 1983). La coloration de Heine consiste à mélanger l'échantillon de matière fécale dans un volume égal de carbofuchsine pendant une minute. Le mélange réalisé est ensuite étalé en frottis mince puis il est séché à l'air (Heine, 1982). Cette coloration est plus rapide que la technique de Ziehl-Neelsen modifiée mais nécessite un microscope à contraste de phase. Les ookystes apparaissent réfringents sur fond rouge pendant une durée d'environ quinze minutes (Polack et al., 1983). Cette technique a une spécificité de 90,7 % et une sensibilité de 76,7 % par rapport à un test d'immunofluorescence direct (IFAT) pris comme gold standard (Chartier et al., 2013).

Les tests immunochromatographiques se présentent sous la forme de bandelettes sur lesquelles sont fixés des anticorps monoclonaux anti-*Cryptosporidium*. La bandelette est mise en contact avec une suspension fécale. Un précipité apparaît sous forme de ligne sur la bandelette en présence du parasite. Ces tests sont rapides, simples et peu coûteux. Ils sont adaptés à un diagnostic sur le terrain. La spécificité de cette technique est de 100 % avec une sensibilité variant de 61,8 % au seuil 100 ookystes par gramme en comparaison avec un gold standard (IFAT) à 81 % au seuil de 100 000 ookystes par gramme (Chartier et al., 2013). Cette technique peut être appliquée avec une échelle semi-quantitative en interprétant l'épaisseur du trait du précipité (Chartier et al., 2013).

2.1.5. Traitements

Il n'existe aucun traitement curatif efficace chez l'animal atteint de cryptosporidiose clinique. Seule une thérapeutique symptomatique pourra être mise en œuvre. Elle associera la fluidothérapie orale ou parentérale, des pansements digestifs voire une antibiothérapie à large spectre en fonction de l'état du veau et des risques de surinfections bactériennes (Ravary-Plumioen, 2014).

La prévention médicale de la cryptosporidiose s'appuie sur deux types de molécules administrées avant l'apparition des signes cliniques et qui permettent de minimiser l'infection, de réduire le risque de diarrhée associée mais sans atteindre un contrôle total de la maladie (Chartier et al., 1996 ; Lefay et al., 2001 ; Silverlås et al., 2009 ; Trotz-Williams et al., 2011).

Le lactate d'halofuginone (Halocur®) est le seul médicament autorisé dans la prévention de la cryptosporidiose. L'administration est réalisée après la tétée ou la buvée du veau pendant 7 jours. Cette molécule a une activité cryptosporidiostatique sur les stades sporozoïte et mérozoïte de *C. parvum* (Shahiduzzaman et Dausgchies, 2012). L'index thérapeutique de cette molécule est étroit. Un dépassement de 2 fois la dose thérapeutique peut entraîner des effets indésirables : diarrhée, anorexie, apathie, déshydratation (Villacorta et al., 1991). Selon certains auteurs, la résistance des cryptosporidies au lactate d'halofuginone pourrait se développer (Silverlås et al. (2009).

Le sulfate de paromomycine (Parofor®) est un antibiotique de la famille des aminosides commercialisé pour l'indication « Traitement des infections gastro-intestinales à *Escherichia coli* ». Mais, de nombreuses études montrent son efficacité préventive vis-à-vis de la cryptosporidiose chez le veau (Paraud et Chartier, 2016). Son administration orale, qui doit être répétée sur 7 à 10 jours, pose la question majeure du risque de sélection de bactéries résistantes. De plus, cette molécule ne permet pas le développement d'une immunité efficace contre le parasite (Fayer et Ellis, 1993).

2.2. Épidémiologie de l'infection par *Cryptosporidium*

La cryptosporidiose est la principale maladie responsable de diarrhées néonatales chez les veaux (de Graaf et al., 1999 ; Silverlås et al., 2009, 2010). La cryptosporidiose a une importance économique directement liée à la morbidité et la mortalité des veaux (Trotz-Williams et al., 2007 ; Santín et al., 2008). Le coût des traitements vétérinaires et les retards de croissance représentent une perte considérable pour les éleveurs. De plus, les traitements sont contraignants pour les éleveurs. La cryptosporidiose a aussi une importance sanitaire pour l'Homme en raison de son caractère zoonotique, l'exposition à *Cryptosporidium spp.* pouvant représenter un risque en particulier pour les nourrissons, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées (Sischo et al., 2000). Les eaux contaminées constituent une source majeure d'infection pour l'Homme (Feng et al., 2018 ; Ramirez et al., 2004). En France, dans un rapport du réseau « Crypto-Anofel » de 2016, il est mentionné 119 cas humains de cryptosporidiose déclarés (*C. parvum* : 63 %, *C. hominis* : 25 %) avec des origines variables (gastro-entérite dans un cadre familial ou de collectivité, contact avec des animaux de rente ou de compagnie, fréquentation de piscine, etc.) (Favennec et Kapel, 2017).

2.2.1. Prévalence et intensité d'excrétion de *Cryptosporidium spp.*

La prévalence de l'infection semble largement varier selon la géographie, le type d'élevage (laitier ou allaitant) et l'âge des animaux (O' Handley et al., 1999 ; Becher et al., 2004 ; Fayer et Xiao, 2007). La prévalence au niveau des troupeaux laitiers dépasse 60 % dans plusieurs études (Garber et al., 1994 ; Ruest et al., 1998 ; Olson et al., 1999; Sischo et al., 2000 ; Trotz-Williams et al., 2005; 2008 ; Bartels et al., 2010). Les nouveau-nés sont les plus réceptifs et les plus sensibles à l'infection (Rieux et al., 2013). Les veaux s'infectent dès la naissance et commencent à excréter des ookystes vers 4 - 5 jours d'âge. Ils atteignent leur maximum d'excrétion entre 7 et 10 jours puis l'intensité d'excrétion diminue à partir de 16 - 17 jours (**Tableau II**). La prévalence d'excrétion chez les adultes est plus faible (0 à 14 %) (Fayer et al., 2000 ; Atwill et Pereira, 2003 ; Silverlås et al., 2010). L'influence de l'âge sur l'excrétion est essentiellement liée à l'état immunitaire des jeunes. Parmi les quatre principales espèces retrouvées chez les bovins, *C. parvum* est l'espèce majoritairement présente chez les jeunes veaux non sevrés tandis que *C. ryanae* et *C. bovis* sont retrouvés chez les jeunes animaux sevrés et *C. andersoni* chez les vaches adultes (Fayer et al., 2006 ; Santín et al., 2004, 2008).

Tableau II : Prévalence individuelle de l'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium* spp. chez les veaux laitiers.

Reference	Localisation	Age	Prévalence (%)
Delafosse et al. (2015)	France	7 à 21 jours	41,5
Naciri et al. (1999)	France	18 à 22 jours	51,8
Lefay et al. (2000)	France	4 à 21 jours	42,4
Castro-Hermida et al. (2002)	Espagne	<21 jours	47,5
Hamnes et al. (2006)	Norvège	3 à 31 jours	7
Huetink et al. (2001)	Pays pas	1 à 3 semaines	39,1
Brook et al. (2008)	Angleterre	1 à 21 jours	44
Duranti et al. (2008)	Italie	<12 mois	32,7
Geurden et al. (2007)	Belgique	<10 semaines	37
Kváč et al., (2006)	Rép. Tchèque	<5 mois	27,1
Bartels et al. (2010)	Allemagne	1 à 21 jours	27,8
Joachim et al. (2003)	Allemagne	≤ 6 mois	20-30
Sischo et al. (2000)	USA	<21 jours	15
Garber et al. (1994)	USA	1 à 3 semaine	48
Trotz-Williams et al. (2007)	USA	7 à 14 jours	53
Trotz-Williams et al. (2008)	USA	7à 28 jours	30
Trotz-Williams et al. (2005)	USA	7à 21 jours	41
Urie et al. (2018)	USA	3 à 13 jours	63,3
Urie et al. (2018)	USA	14 à 27 jours	47,2
Xiao et Herd (1994)	USA	1 à 8 semaine	43,3
Garber et al. (1994)	USA	1 à 3 semaines	48,1
Santín et al. (2004)	USA	5 jours à 2 mois	50,3
Santín et al. (2008)	USA	1 semaine	80
Santín et al. (2008)	USA	2 semaines	96,6
Olson et al. (1997)	Canada	<6 mois	59
Uga et al. (2000)	Japon	≤ 1 mois	93

Les études ont principalement été réalisées en élevage laitier. Dans plusieurs de ces études, la prévalence d'infection est plus élevée en élevage laitier qu'en allaitant (Olson et al., 2004 ; Kváč et al., 2006 ; Geurden et al., 2007 ; Duranti et al., 2008), tandis que dans l'étude de Naciri et al. (1999) les résultats sont opposés (**Tableau II et III**). Certaines études trouvent des prévalences similaires entre les deux types d'élevage (Castro-Hermida et al., 2002 ; Lefay et al., 2000). Ces divergences peuvent être liées à l'âge des veaux prélevés qui diffère d'une étude à l'autre et aux différentes pratiques d'élevage.

Tableau III : Prévalence individuelle des veaux allaitants excréant des ookystes de *Cryptosporidium* spp.

Référence	Localisation	Age	Prévalence (%)
Naciri et al. (1999)	France	11 à 17 jours	86
Lefay et al. (2000)	France	4 à 21 jours	43,9
Follet et al. (2011)	France	5 semaines	47,9
Rieux et al. (2013)	France	5 à 11 jours	19
Rieux et al. (2013)	France	12 à 18 jours	52
Rieux et al. (2013)	France	20 à 26 jours	71
Rieux et al. (2013)	France	27 à 34 jours	85
Castro-Hermida et al. (2002)	Espagne	<21 jours	48,5
Duranti et al. (2008)	Italie	<12 mois	3,1
Geurden et al. (2007)	Belgique	<10 semaines	12
Kváč et al., (2006)	Rép. Tchèque	<12 mois	0,8

D'autre part, **l'intensité de l'excrétion** d'ookystes est significativement liée à la sévérité de la diarrhée (Trotz-Williams et al., 2005). En effet, si le niveau d'excrétion est supérieur à $2,2 \times 10^5$ ookystes par gramme, le risque de diarrhée est significativement très élevé (Trotz-Williams et al., 2007). Réciproquement, il existe une forte probabilité qu'un veau présentant de la diarrhée soit excréteur de *Cryptosporidium* comparé à un animal non-diarrhéique (Lefay et al., 2000 ; Trotz-Williams et al., 2005). Les cryptosporidies sont souvent associées à d'autres agents pathogènes, le plus souvent à Rotavirus (Constant, 2001 ; Fournier et Naciri, 2007). Ces associations aggravent la sévérité de la diarrhée (De La Fuente et al., 1999 ; Constant, 2001 ; Fournier et Naciri, 2007 ; Bartels et al., 2010 ; Al Mawly et al., 2015).

Les veaux se contaminent par *C. parvum* dès la naissance et excrètent des ookystes principalement entre 5 et 17 jours. *C. ryanae* et *C. bovis* sont retrouvés chez les jeunes bovins sevrés et *C. andersoni* chez les adultes. Les prévalences d'excrétion de *C. parvum* mesurées sont généralement élevées. Une association avec d'autres entéropathogènes peut aggraver la sévérité de la diarrhée.

2.2.2. Sources de contamination et mode de transmission

Un individu s'infecte par la voie oro-fécale, en ingérant des ookystes. Un petit nombre d'ookystes de *C. parvum* (< 50) peut être suffisant pour infecter un veau mais plus la dose infectante est élevée, plus la durée de l'excrétion et le nombre d'ookystes excrétés seront importants (Moore et al., 2003 ; Zambriski et al., 2013).

La contamination chez les ruminants peut s'effectuer par contact direct avec un animal infecté et par l'environnement. La résistance des ookystes est particulièrement importante dans le milieu extérieur (Fayer, 2004). En effet, les ookystes peuvent être ingérés lors de la consommation d'aliments ou d'eau de boissons souillés, par léchage du pelage ou de la litière ou du matériel d'élevage contaminé (Trotz-Williams et al., 2007). Les nouveau-nés et les jeunes veaux sont la principale source d'ookystes dans l'environnement, et en excrètent de grandes quantités (10^5 à 10^7 ookystes par grammes de fèces) (Fayer, 2004 ; Geurden et al., 2008 ; Paraud, 2009). Les veaux contribuent ainsi à une contamination massive du milieu permettant la transmission accrue du parasite au sein de l'élevage. Certains auteurs indiquent aussi que les vaches adultes constituent des réservoirs du parasite car elles excrètent des niveaux faibles d'ookystes (entre 100 et 1000 ookystes par gramme) (Ramirez et al., 2004 ; Castro-Hermida et al., 2005, 2007 ; Santín et al., 2008 ; Fayer et Santín, 2009 ; Paraud et al., 2010 ; Silverlås et al., 2010). Cependant, comme évoqué précédemment, les vaches adultes et les veaux ne sont majoritairement pas infectés par les mêmes espèces de *Cryptosporidium* (Atwill et al., 1998 ; Ralston et al., 2003 ; Santín et al., 2004). Enfin, *C. parvum* a été isolé sur une grande variété d'animaux sauvages (cervidés, rongeurs, lagomorphes), qui pour certains, partagent leurs habitats avec des animaux d'élevage, fournissant alors une source additionnelle d'ookystes pour les bovins (Ramirez et al., 2004).

La contamination par *Cryptosporidium spp.* se fait par contact direct entre les veaux ou par l'environnement. La transmission de *C. parvum* entre les vaches et les veaux semble peu probable.

2.2.3. Facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium spp.*

La cryptosporidiose est une maladie multifactorielle dans laquelle de nombreux paramètres associés aux veaux, à leur conduite et à l'environnement interagissent (Mohammed et al., 1999 ; Delafosse et al., 2015). Le **Tableau IV** reprend les principaux facteurs de risques d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium spp.* identifiés dans la littérature.

Tableau IV : Principaux facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium spp.*

Facteurs de risque	Par rapport à	Elevage	Références
Caractéristiques générales d'élevage			
Grand troupeau (>200)	Petit et moyen et troupeau (<100)	Laitier	Garber et al. (1994) ; Lassen et al. (2009) ; Szonyi et al. (2012) ; Urie et al. (2018)
Nombre élevé de veaux	Nombre faible de veaux	Laitier	Starkey et al. (2006) ; Trotz-Williams et al. (2008)
Vêlage en été	Vêlage en hiver	Laitier	Wade et al. (2000a) ; Trotz-Williams et al. (2007) ; Urie et al. (2018)
Vêlage en hiver	Vêlage en été	Laitier	Lefay et al. (2000) ; Huetink et al. (2001) ; Bartels et al. (2010)
Race Jersiaise	Race Prim' Holstein	Laitier	Szonyi et al. (2012)
Race Normande	Autre race	Laitier	Delafosse et al. (2015)
Pratiques autour du vêlage			
Case de vêlage collective	Case de vêlage individuelle	Laitier	Garber et al. (1994) ; Mohammed et al. (1999)
En stabulation avec les vaches	Séparation dès la naissance	Laitier	Starkey et al. (2006) ; Szonyi et al. (2012) ; Trotz-Williams et al. (2007, 2008) ;
Séparation dès la naissance	En stabulation avec les vaches	Laitier et allaitant	Kváč et al. (2006) ; Duranti et al. (2008) ; Lassen et al. (2009)
Logement			
Case collective	Case individuelle	Laitier et allaitant	Sischo et al. (2000) ; Castro-Hermida et al. (2002) ; Olson et al. (2004)
Cases individuelles avec des contacts entre veaux	En stabulation avec les vaches	Laitier et allaitant	Kváč et al. (2006)
Sol en terre battue	Sol bétonné	Laitier et allaitant	Castro-Hermida et al. (2002) ; Trotz-Williams et al. (2008)
Litière de foin	Pas de litière de foin	Laitier	Szonyi et al. (2012)
Densité élevée	Densité faible	Laitier	Garber et al. (1994) ; Mohammed et al. (1999)
Alimentation			
Distribution de colostrum et de lait au seau	Distribution du colostrum et de lait avec une tétine	Laitier	Ferran et Bouquet. (2013) ; Delafosse et al. (2015)
Quantité faible de Colostrum (4 L)	Quantité élevée de colostrum (7 L)	Laitier	Trotz-Williams et al. (2007)
Lait de remplacement	Lait du tank entier	Laitier	Trotz-Williams et al. (2007, 2008)
Pas de lait fermenté	Lait fermenté	Laitier	Delafosse et al. (2015)
Hygiène des locaux			
Fréquence de nettoyage faible (mensuelle)	Nettoyage fréquent (quotidien)	Laitier	Mohammed et al. (1999) ; Castro-Hermida et al. (2002) ; Urie et al. (2018)
Curage uniquement	Nettoyage sous pression	Laitier	Castro-Hermida et al. (2002)
Nettoyage des seaux sans détergeant	Nettoyage des seaux avec du détergeant	Laitier	Trotz-Williams et al. (2008)

Les caractéristiques générales de la ferme comme la taille du troupeau, la race et les périodes de vêlages influencent le risque parasitaire. En effet, un troupeau de grande taille, possédant un nombre élevé de veau représente un facteur de risque (Garber et al., 1994 ; Lassen et al., 2009; Szonyi et al., 2012; Urie et al., 2018). Cela peut s’expliquer par le fait que ces grandes exploitations ont plus de veaux excréant des ookystes à l’âge d’environ 2 semaines, tout en ayant plus de veaux sensibles à *Cryptosporidium* (Trotz-Williams et al., 2008 ; Urie et al., 2018). La saison de vêlage étalée dans l’année dans les troupeaux laitiers de grande taille représente aussi un facteur de risque. En effet, l’introduction de veaux au sein du troupeau tout au long de l’année favorise une transmission continue entre les veaux plus âgés et les veaux les plus jeunes en comparaison aux troupeaux allaitants qui ont une saison de vêlage courte permettant de rompre ce cycle de transmission (Olson et al., 2004). Un effet saison a aussi été mis en évidence avec des résultats contradictoires. Alors que certaines études rapportent un risque plus élevé en été (Wade et al., 2000 ; Trotz-Williams et al., 2007 ; Urie et al., 2018), d’autres études rapportent au contraire un risque plus élevé en hiver (Mohammed et al., 1999 ; Lefay et al., 2000 ; Huetink et al., 2001 ; Bartels et al., 2010). Ces augmentations saisonnières peuvent s’expliquer par une augmentation du nombre de veaux et une augmentation de la température pour les vêlages d’été ; et par l’augmentation du nombre de veaux corrélée à une augmentation de la densité et des contacts en bâtiment pendant les mois d’hiver, quand les bovins ne sont pas au pâturage (Mohammed et al. 1999 ; Huetink et al., 2001 ; Bartels et al., 2010). Les périodes d’épandage de fumier coïncidant avec la période de vêlage (Ramirez et al., 2004 ; Delafosse et al., 2006 ; Keeley et al., 2008) et le non-compostage du fumier (Trotz-Williams et al., 2007 ; Duranti et al., 2009) peuvent aussi faciliter la transmission du pathogène par différentes voies (matériel, homme). Par ailleurs, certaines races seraient des facteurs de risque comme la Jersiaise (Szonyi et al., 2012) ou la race Normande (Delafosse et al., 2015).

Les pratiques autour du vêlage semblent aussi exercer une grande influence sur la transmission de la cryptosporidiose. La séparation entre la mère et le veau a été étudiée comme facteur de risque potentiel mais, avec une absence de consensus (Beaver et al., 2019). La séparation tardive a été reportée comme un effet protecteur par certains auteurs (Kváč et al., 2006 ; Duranti et al., 2008 ; Lassen et al., 2009), alors que d’autres études n’indiquent aucune différence (Maldonado-Camargo et al., 1998 ; Mohammed et al., 1999 ; Delafosse et al., 2015 ; Garro et al., 2016) ou encore la considèrent comme un facteur de risque (Quigley et al., 1994 ; Starkey et al., 2006 ; Starkey et al., 2006 ; Trotz-Williams et al., 2007, 2008, Szonyi et al., 2012). Malgré ces résultats contradictoires, un effet protecteur de l’allaitement de la mère semble prépondérant d’après la méta-analyse de Beaver et al. (2019). L’utilisation de cases de vêlage collectives et le regroupement des vaches 2 mois avant le vêlage semblent être aussi des facteurs de risque en raison respectivement d’une augmentation des contacts entre les veaux sensibles et de la charge en pathogènes dans l’environnement (Garber et al., 1994 ; Mohammed et al., 1999).

Le logement des veaux est un facteur primordial dans l’épidémiologie de la maladie. L’étude d’Atwill et al. (1998) a montré que les sols et les parois en bois des niches à veaux contenaient des ookystes de *C. parvum* sur leur surface. De même, le risque de cryptosporidiose était plus faible chez des veaux élevés sur un sol bétonné par rapport à des veaux élevés sur de la paille et de la terre battue (Castro-Hermida et al., 2002 ; Trotz-Williams et al., 2008 ; Szonyi et al. 2012). Au-delà de la nature du sol, l’utilisation de cases collectives est un facteur de risque de la cryptosporidiose en permettant le contact entre les veaux (Sischo et al., 2000 ; Castro-Hermida et al., 2002) notamment en fin de saison de vêlage (Olson et al., 2004 ; Duranti et al., 2008). De même, de manière générale, une densité importante de veaux élevés au sein d’une exploitation favorise la contamination massive de l’environnement et ainsi la transmission du parasite (Garber et al., 1994 ; Mohammed et al., 1999 ; Causapé et al., 2002 ; Trotz-Williams et al., 2007 ; Duranti et al., 2009). A l’inverse, des veaux élevés en

plein air ou dans des logements avec ventilation mécanique sont 5 fois moins susceptibles d'être associés à une infection par *C. parvum* que des veaux logés à l'intérieur sans ventilation (Mohammed et al., 1999). Le fait d'isoler les veaux diarrhéiques peut aussi permettre de réduire la transmission entre les veaux (Causapé et al., 2002 ; Trotz-Williams et al., 2007).

Le curage fréquent de la nurserie est un facteur protecteur vis-à-vis de la cryptosporidiose en permettant l'élimination des matières fécales dans l'environnement des veaux et en limitant la réinfection par *Cryptosporidium* (Mohammed et al., 1999 ; Thompson et al., 2008 ; Urie et al., 2018). L'absence de nettoyage et de désinfection du matériel en contact avec les veaux (seaux, bottes, etc.) ainsi que l'utilisation de seaux pour l'administration du colostrum sont des facteurs de risque identifiés dans certaines enquêtes épidémiologiques (Trotz-Williams et al., 2008 ; Delafosse et al., 2015).

2.3. Annonce du second objectif de la thèse

La conduite des veaux laitiers sous nourrices se distingue fortement de la conduite standard par :

- Un contact prolongé avec la mère,
- Une adoption par une vache nourrice,
- Une alimentation différente,
- Un contact entre les veaux,
- Un changement de locaux,
- Un stress accompagnant ces différentes étapes.

Ces éléments intervenant très tôt dans la vie du veau sont susceptibles de modifier profondément l'épidémiologie d'une infection comme la cryptosporidiose, agent pathogène le plus fréquemment impliqué dans les diarrhées néonatales.

Les éleveurs conduisant leurs veaux sous nourrices témoignent d'une diminution des diarrhées néonatales mais aucune étude n'a approfondi cette observation en évaluant précisément l'importance des diarrhées néonatales et notamment la cryptosporidiose dans ce type de conduite. Quelle est la prévalence de la cryptosporidiose et des diarrhées néonatales dans les élevages réalisant cette pratique ? Diffère-t-elle de ce qui est observé en système d'élevage de veaux laitiers classique ? Existe-t-il des différences de conduite au sein du système veau laitier sous nourrices qui pourraient conduire à des risques plus ou moins élevés d'infection ?

Le second objectif de la thèse est dans un premier temps de décrire le système de conduite des veaux élevés sous nourrices pendant leur premier mois de vie, puis d'évaluer la fréquence, l'intensité et les facteurs de risque d'infection par *Cryptosporidium spp.* chez ces veaux.

3. Les strongyloses des bovins au pâturage

Les strongyles sont des nématodes de l'ordre des *Strongylida* et parasitent le tube digestif ou l'appareil respiratoire des herbivores, notamment chez des ruminants (Charlier et al., 2020). Ils sont extrêmement fréquents et mondialement répandus chez les bovins ayant accès au pâturage (Kilani et al., 2003 ; Fitzpatrick, 2013). Les principales espèces rencontrées chez les bovins en zone tempérée sont *Dictyocaulus viviparus* (appareil respiratoire), et *Ostertagia ostertagi*, *Cooperia oncophora*, *Nematodirus helvetianus*, *Oesophagostomum radiatum* (tube digestif) (Kilani et al., 2003 ; Craig, 2018). *O. ostertagi*, localisé dans la caillette, est le strongle gastro-intestinal (SGI) le plus fréquent (prévalence d'infestation de 80 à 100 %), le plus pathogène et celui contre lequel l'immunité met le plus de temps à s'installer (Agneessens et al., 2000 ; Charlier et al., 2013, 2018). *D. viviparus*, localisé dans les bronches, est responsable de la bronchite vermineuse. Des études en Allemagne et en Suède indiquent une séroprévalence d'infestation par *D. viviparus* autour de 40 % chez les génisses de première saison de pâturage (SP1) (Schnieder et al., 1993 ; Høglund et al., 2004). Nous allons nous intéresser particulièrement aux infestations causées par ces deux parasites ainsi qu'aux moyens de maîtrise de ces infestations.

3.1. L'infestation par *Ostertagia ostertagi*

3.1.1. Biologie d'*Ostertagia ostertagi*

Le cycle évolutif d'*Ostertagia ostertagi* est homoxène semi-direct (**Figure 3**). Il est caractérisé par la succession de deux phases : une phase externe sur les pâtures au cours de laquelle les œufs excrétés dans les fèces des bovins infestés se développent jusqu'au 3^{ème} stade larvaire infestant (L3), et une phase interne qui se déroule dans le tube digestif de l'hôte au cours de laquelle les larves L3 ingérées avec l'herbe évoluent en adultes dans la caillette (Charlier et al., 2020).

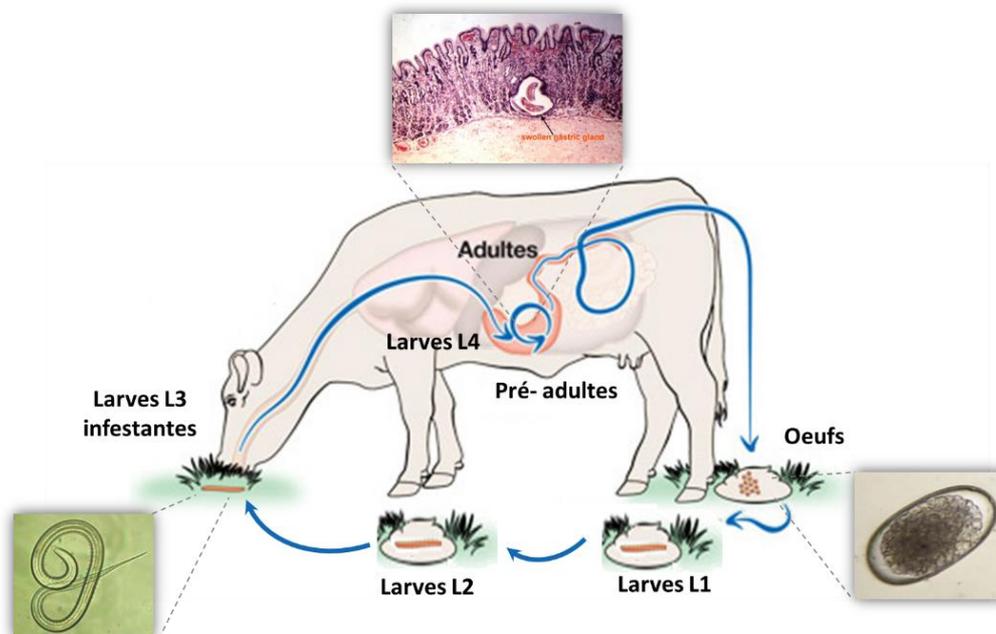


Figure 3 : Cycle évolutif d'*Ostertagia ostertagi*. Adapté de Ravinet et al., (2015) et GDS 64 (2021).

Lors de la phase externe, le développement larvaire dépend surtout de la température et de l'oxygénation (Charlier et al., 2020). L'humidité est un facteur de moindre importance lors du développement des œufs et des larves à l'intérieur des bouses (Morgan et Van Dijk, 2012). Mais l'humidité est un facteur essentiel pour la migration des larves L3 hors des bouses et pour leur survie (Charlier et al., 2020). Dans des conditions environnementales optimales (oxygénées avec une température de 22 °C à 26 °C), les œufs se développent en L3 en 5 à 6 jours (Stromberg, 1997, Kilani et al., 2003). Lorsque la température augmente, le développement des œufs en L3 est plus rapide mais les larves survivent moins longtemps (Rossanigo et Gruner, 1995). À l'inverse, lorsque la température diminue, le développement ralentit jusqu'à s'arrêter au-dessous de 10 °C (Armour, 1980 ; Grenfell et al., 1987). La larve L3, protégée par une gaine (exuvie de la larve L2), constitue le stade de résistance dans le milieu extérieur et peut survivre en général de 2 à 6 mois (Craig, 2018), et parfois jusqu'à plus d'un an (Fiel et al., 2012). Elles sont toutefois sensibles à la dessiccation (Charlier et al., 2020). Ainsi, les bouses des bovins constituent un refuge favorable aux larves par temps sec car la croûte externe permet de maintenir un milieu interne humide (Kilani et al., 2003). Les larves L3 se déplacent dans un rayon maximal de 50 cm autour des bouses (Boom et Sheath, 2008) *via* la couche aqueuse qui se trouve à la surface du sol et des végétaux (Charlier et al., 2020). Ces déplacements suivent un hygrotypisme positif, un phototypisme négatif et un géotypisme négatif (Stromberg, 1997 ; van Dijk et al., 2009).

Une fois ingérées par un bovin non immun, les larves L3 se libèrent de leur gaine, pénètrent dans la muqueuse gastrique et muent en L4, 3 à 4 jours après leur ingestion (Armour and Duncan, 1987 ; Anderson, 1992). Les larves L4 retournent ensuite dans la lumière de la caillette et muent en pré-adultes. Une fois adultes, les vers s'accouplent et les femelles pondent les œufs qui sont excrétés *via* les fèces de l'hôte. Après une primo-infestation d'un jeune bovin naïf, la période prépatente est en moyenne de 21 jours (Charlier et al., 2020). Toutefois, le développement parasitaire peut être interrompu ou ralenti au début du stade L4 intra-muqueux (Armour et Duncan, 1987). Il s'agit du phénomène d'hypobiose durant lequel les larves L4 sont immobiles et inactives, enkystées dans la muqueuse. Ce phénomène peut être provoqué par des conditions environnementales (sécheresse, baisse de la température, diminution de la photopériode), par la forte densité de vers adultes, ou par la réaction immunitaire de l'hôte (Armour et Duncan, 1987). Après cette période qui peut durer plusieurs semaines voire plusieurs mois (Fernández et al., 1999 ; Lützelshwab et al., 2005), les larves se désenkystent et reprennent leur développement jusqu'au stade adulte (Kilani et al., 2003). Les déclencheurs de l'entrée ou de la sortie de l'état d'hypobiose ne sont que partiellement compris (Charlier et al., 2020).

3.1.2. Conséquences de l'infestation

3.1.2.1 Baisse d'appétit et maldigestion

Les parasites exercent une action traumatique (entrée et sortie des larves de la muqueuse abomasale), une action spoliatrice, et émettent des produits d'excrétion-sécrétion. À l'échelle tissulaire, on observe globalement un épaississement et une hyperplasie de la muqueuse abomasale (Fox, 1997). Au niveau des glandes gastriques, les facteurs inflammatoires, combinés aux produits d'excrétion-sécrétion des vers, inhibent la fonction des cellules pariétales (Mihi et al., 2014), normalement sécrétrices d'HCl, ce qui induit une augmentation du pH de la caillette (Fox, 1997) (**Figure 4**). La gastrine est alors produite en grande quantité, provoquant la baisse de l'appétit et une hyperproduction de pepsinogène (Coop et Kyriazakis, 1999). L'augmentation de la perméabilité des parois digestives permet au pepsinogène accumulé de passer dans la circulation sanguine en quantité proportionnelle à l'étendue des lésions de la muqueuse abomasale (**Figure 4**).

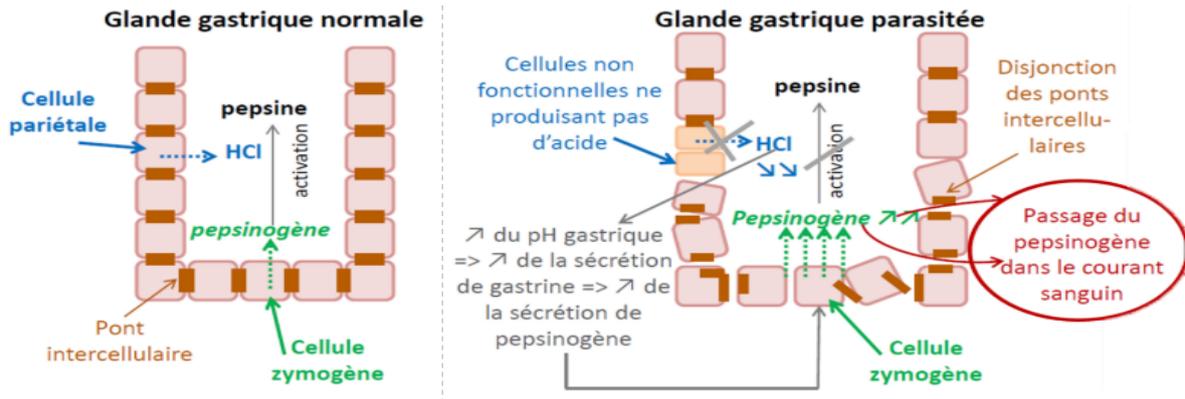


Figure 4 : Mécanisme de fonctionnement d'une glande gastrique normale et parasitée d'après Ravinet et al., (2015).

Des phénomènes généraux de malabsorption et de maldigestion entraînent une perturbation du métabolisme protéique alors que les besoins en protéines augmentent pour les réparations tissulaires, le maintien de l'homéostasie ainsi que pour le développement de l'immunité (Charlier et al., 2018). La diminution des apports due à la réduction de la prise alimentaire et de l'efficacité alimentaire se solde par un bilan négatif à l'origine des impacts subcliniques (Armour, 1980 ; Forbes et al., 2007 et 2009 ; Szyska et Kyriazakis, 2013).

3.1.2.2 Baisse des productions et signes cliniques

Même si l'infestation par *Ostertagia* reste le plus souvent subclinique (Vercruysse et Claerebout, 2001), des conséquences sur les performances de production sont possibles. En effet, l'infestation engendre une diminution de l'appétit (Forbes et al., 2000, 2007) ce qui entraîne une diminution de la croissance chez les jeunes bovins (Shaw et al., 1998 ; Dimander et al., 2000, 2003 ; Höglund et al., 2009 ; Charlier et al., 2010 ; Merlin et al., 2017a), et du BEA (Szyska et al., 2013 ; Bellet et al., 2016 ; Högberg et al., 2019). Ces retards de croissance peuvent retarder l'âge au premier vêlage, et il a été montré que l'infestation des génisses peut affecter le développement de la glande mammaire ce qui pourrait avoir des conséquences sur la première lactation (Perri et al., 2013, 2014). Ces infestations sont ainsi responsables de pertes économiques importantes pour l'éleveur (Van Meensel et al., 2010 ; Fanke et al., 2017) en raison de l'élevage prolongé des génisses, de la réduction du poids des carcasses, de la baisse du rendement laitier, de la fertilité, des traitements anthelminthiques et de l'augmentation de la main-d'œuvre (Charlier et al., 2020).

Les signes cliniques d'une infestation par les SGI peuvent survenir dès que le niveau d'infestation est important, en lien avec une infestivité élevée des parcelles, à partir de 1 à 3 mois après la mise à l'herbe (Ploeger et al., 1996 ; Claerebout et al., 1999 ; Van Dijk 2004). Plusieurs types d'ostertagiose se distinguent et se succèdent généralement durant les deux premières saisons de pâturage (SP1 et SP2) (Kerboeuf, 1979 ; Nansen et al., 1989 ; Charlier et al., 2020). L'ostertagiose de type I est provoquée par l'installation des vers dans la caillette (cycle parasitaire non interrompu au stade L4) lorsque la charge parasitaire atteint environ 40 000 vers (Armour, 1970) entre juillet et octobre lors de la SP1 (Nansen et al., 1989). Une diarrhée aqueuse, profuse et verdâtre, une anorexie et une dégradation de l'état général de l'animal sont alors observées. Lors de l'hypobiose, à la fin de l'automne et durant l'hiver succédant à cette SP1, on parle d'ostertagiose de pré-type II, phase au cours de laquelle les signes cliniques sont souvent frustes voire absents (Radostits et al., 2007). L'ostertagiose de type II est provoquée par la levée d'hypobiose des larves L4 en fin d'hiver-début de printemps, à la suite de la SP1 (Charlier et al., 2020). Les signes cliniques sont très proches de l'ostertagiose de type I, mais d'apparition brutale, souvent très marqués et pouvant parfois entraîner la mort de l'animal (Anderson

et al., 1965). Enfin, l'ostertagiose allergique apparaît chez 1 % des animaux immuns à partir de la SP2 lors des ré-infestations. La clinique est caractérisée par un amaigrissement important associé à une diarrhée profuse, l'œdème de la caillette pouvant être très marqué (Raynaud et al., 1976).

3.1.3. Développement de l'immunité concomitante

À la suite d'un contact prolongé avec les SGI, les bovins développent progressivement une immunité de type concomitante, aboutissant à un équilibre dynamique entre l'hôte et les parasites et maintenant un niveau d'infestation bas (Vercruysse et Claerebout, 1997). Le développement de l'immunité se déroule de manière séquentielle. La réponse immunitaire se traduit tout d'abord par une diminution de la taille des vers adultes et de la ponte des œufs par les femelles (Gasbarre et al., 1990). La réaction immunitaire entraîne ensuite une inhibition des larves L4 qui s'enkystent, ce qui bloque le développement larvaire. La réaction immunitaire se manifeste enfin par une résistance à l'implantation de nouvelles larves L3 dans la muqueuse abomasale et une expulsion des vers adultes (Vercruysse et Claerebout, 1997) diminuant ainsi la charge parasitaire chez l'hôte (Claerebout et Vercruysse, 2000).

Le développement de l'immunité dépend de la durée et de l'intensité de l'exposition (Claerebout et al., 1998). Au minimum six à huit mois de contact avec *O. ostertagia* sont nécessaires pour l'acquisition d'une immunité efficace chez les génisses. La résistance à l'infestation n'apparaît donc généralement que durant la SP2 (Armour, 1989 ; Gasbarre et al., 2001), si au préalable le contact en SP1 a été suffisant. L'immunité vis-à-vis des strongles digestifs de l'intestin (*Cooperia spp.*) s'installe plus rapidement (3-4 mois) (Charlier et al., 2020). Le développement plus lent de l'immunité vis-à-vis d'*O. Ostertagia* s'expliquerait par un phénomène d'échappement en lien avec les produits d'excrétion-sécrétion du vers (Claerebout et Vercruysse, 2000, Gasbarre et al., 2001). Le développement et le maintien de l'immunité sont influencés par des facteurs propres à l'hôte : le sexe (les mâles étant plus sensibles ; Herd et al., 1992), la génétique, l'âge, le statut nutritionnel et hormonal et les maladies intercurrentes (Armour, 1980, 1982 ; Vercruysse et Claerebout, 1997). Autour du vêlage, la vache peut avoir un relâchement de l'immunité permettant la reprise de développement des SGI observable par la reprise de la ponte des femelles (Michel et al., 1979 ; Hammerberg et Lamm, 1980).

L'immunité concomitante vis-à-vis d'*O. ostertagi* se met en place au bout de 6 à 8 mois, si le contact a été suffisamment important. Ainsi, on s'attend le plus souvent à ce que les génisses deviennent résistantes à l'infestation en cours de la seconde saison de pâturage, à condition que l'exposition aux parasites en première saison ait été suffisant.

3.1.4. Examens complémentaires utilisables pour le diagnostic de l'infestation

Les différents outils diagnostiques disponibles permettent de quantifier l'exposition, l'infestation ou l'excrétion, le caractère qualitatif ayant peu d'intérêt puisque tout bovin pâturant est exposé aux SGI, infesté et donc aussi excréteur.

La coproscopie consiste à dénombrer les œufs de SGI présents dans les fèces. Le résultat s'exprime en œuf par gramme de fèces (opg). La méthode McMaster est une technique de flottation couramment utilisée dans laquelle on mélange au prélèvement de matières fécales, un liquide de densité plus élevée que les œufs de SGI (NaCl à saturation, sulfate de zinc, sulfate de magnésium). Les œufs remontent à la surface et peuvent alors être observés et dénombrés au microscope. La technique Mini-Flotac basée sur le même principe est plus rapide et plus sensible (Cringoli et al., 2017). La coproscopie est la méthode de diagnostic la plus largement utilisée chez les génisses en SP1 en raison de sa facilité de mise en œuvre (Morgan et al., 2013 ; Takeuchi-Storm et al., 2019), mais son interprétation doit cependant être réalisée avec précaution car la corrélation entre l'excrétion fécale et la charge

parasitaire n'est pas toujours bonne. Par ailleurs, les œufs de strongles ne sont pas différenciables entre eux (à l'exception de *Nematodirus*), or *Cooperia*, bien que moins pathogène qu'*Ostertagia*, est un nématode plus prolifique que ce dernier. De plus, en période d'hypobiose, les larves enkystées ne pondent pas d'œufs et les niveaux d'excrétion peuvent être bas alors que la charge parasitaire est importante.

L'ELISA *Ostertagia* mesure le taux d'anticorps anti-*O.ostertagi* présents dans le sérum ou le lait et reflète l'exposition du bovin aux parasites (Charlier et al., 2005 ; Forbes et al., 2008 ; Sekiya et al, 2013 ; Merlin et al., 2016). Ce dosage est réalisé à partir d'un kit commercialisé par Svanova®. Le résultat s'exprime en ratio de densité optique (RDO). La répétabilité intra et inter-laboratoires est bonne (Charlier et al., 2009). Une grande variabilité individuelle rend l'établissement de seuils diagnostiques difficiles ce qui explique que ce dosage n'est pas utilisé en routine (Eysker and Ploeger, 2000). Cette méthode manque également de spécificité pour *O. ostertagi* du fait de réactions croisées avec d'autres SGI comme *Cooperia* voire des trématodes comme *Fasciola hepatica* (Eysker et Ploeger, 2000, Forbes et al, 2008). Le niveau d'anticorps est considéré comme un marqueur d'exposition, et non comme un marqueur du niveau d'infestation, car il n'y a pas ou peu de corrélation entre la charge parasitaire et le niveau d'anticorps (Borgsteede et al., 2000 ; Agneessens et al.,2000 ; Jacquiet et al., 2010 ; Chartier et al., 2013).

Le niveau de pepsinogène sérique est un marqueur indirect des lésions de la muqueuse abomasale. En effet, ce précurseur d'enzyme protéolytique de la caillette (la pepsine) passe dans la circulation sanguine à la faveur des lésions abomasales lors de l'infestation par *O.ostertagi*. La méthode de dosage du pepsinogène sérique décrite par Kerboeuf et al. (2002) est utilisée en France. Les résultats s'expriment en Unité tyrosine (U Tyr). Le niveau de pepsinogène moyen mesuré sur 5 à 10 génisses d'un lot est corrélé à la charge parasitaire moyenne du lot, autorisant une quantification du niveau d'infestation (Kerboeuf et al., 1981). En revanche, les valeurs chez les bovins adultes immunisés ne sont pas (ou peu) corrélées à la charge parasitaire et sont souvent difficiles à interpréter (Agneessens et al., 2000 ; Chartier et al., 2013). Elles peuvent parfois être très élevées chez des vaches sans signe clinique, et ceci pourrait être attribué à des réactions d'hypersensibilité (Charlier et al., 2009). Cependant, d'autres causes non parasitaires peuvent potentiellement influencer sur le taux de pepsinogène sérique tel qu'un ulcère, une dilatation ou un déplacement de caillette. De plus, ce dosage souffre de problèmes de standardisation et de reproductibilité dans les différents laboratoires (Charlier et al., 2011).

Le prélèvement d'herbe suivi d'un comptage larvaire permet d'identifier et de quantifier les larves L3 présentes sur les parcelles et de mesurer ainsi l'infestivité des parcelles (Grüner et Raynaud, 1980, Couvillion, 1993). Cependant, cette technique n'est pas pratiquée en routine car la procédure de prélèvement d'herbe est longue. Le choix de la parcelle à prélever peut-être complexe en cas de rotation de pâtures, et la date de prélèvement dépend des conditions météorologiques. Par ailleurs, il n'existe pas vraiment de seuil d'infestivité de la parcelle susceptible d'impacter la production car tout dépend du niveau d'immunité des animaux pâturant, de la durée d'utilisation de la parcelle et de la complémentation apportée. Une alternative consiste en l'utilisation du logiciel Parasit'Sim qui modélise la succession des cycles parasitaires en fonction des conditions météorologiques et de la conduite du pâturage, indiquant ainsi le nombre de générations larvaires auxquelles les génisses ont été exposées et donc la pression d'infestation (Chauvin et al., 2009). Le logiciel prend en compte la période prépatente fixe de 3 semaines et la durée du développement œufs-larves sur les pâtures en fonction de la température, selon le modèle développé par Grenfell et al., (1987). La conduite du pâturage, l'immunité des animaux, les périodes de sécheresse et de complémentation, ainsi que

l'utilisation des traitements anthelminthiques et leur rémanence permettent d'ajuster le modèle (Ravinet et al., 2019).

3.1.5. Épidémiologie de la maladie

L'accès au pâturage est la condition préalable à toute infestation par les SGI puisque les bovins s'infestent en ingérant des L3 présentes sur l'herbe. Plus la durée de pâturage est longue, plus les animaux sont en contact longtemps avec des larves infestantes et plus le recyclage parasitaire et donc le niveau d'infestivité des parcelles peut être important (Charlier et al., 2005, 2011 ; Höglund et al., 2010).

Au printemps, les animaux sont en contact avec les larves résiduelles (transhivernantes) qui se sont développées à la fin de la saison précédente et qui ont survécu à l'hiver. Le niveau d'infestivité des parcelles lors de la mise à l'herbe est lié à différents paramètres comme le niveau d'infestivité avant l'hiver, les conditions météorologiques hivernales, le temps de repos hivernal, les actions menées sur les parcelles (par exemple la fauche) (Bellet et al., 2018 ; Hildreth et McKenzie, 2020). Les veaux commencent à s'infester en mangeant de l'herbe dès leur mise à l'herbe (Owen et al., 1989 ; Szyszka et al., 2013 ; Koczura et al., 2020). Plus l'infestivité initiale des parcelles est élevée, plus le recyclage sera rapidement intense et plus les épisodes cliniques pourront être précoces. Néanmoins, le nombre de larves transhivernantes décroît fortement au cours du printemps (Hildreth et McKenzie, 2020), et les génisses mises à l'herbe plus tardivement seront donc moins exposées (Charlier et al., 2010 ; Bennema et al., 2010 ; Höglund et al., 2013 ; Bellet et al., 2018). À l'inverse, le risque parasitaire est plus élevé si la mise à l'herbe des animaux réceptifs se fait sur une parcelle pâturée récemment par un autre lot d'animaux réceptifs (Armour 1980). La mise à l'herbe progressive et l'utilisation de parcelles réservées aux génisses augmentent le risque (Eysker et al., 1994 ; FiBI, 2014).

L'épidémiologie dépend des conditions météorologiques et de la conduite du pâturage (Armour, 1980, 1982). L'excrétion fécale est généralement maximale 2 à 3 mois après la mise à l'herbe (Ploeger et al., 1994 ; Shaw et al., 1998) soit entre juillet et septembre dans les pays tempérés (Soulsby, 1982 ; Nogareda et al., 2006). Or, ce pic correspond aussi au moment où la pousse d'herbe est réduite durant l'été. Cela peut induire du surpâturage et une ingestion d'herbe plus près du sol et plus près des bouses augmentant ainsi l'ingestion de larves. Toutefois, la sécheresse estivale peut aussi tuer les larves. La supplémentation des animaux durant la sécheresse peut contrebalancer le surpâturage et limiter la contamination des bovins. Après une période de sécheresse, des pluies peuvent entraîner le délitement des bouses provoquant la libération synchrone et massive des larves sur les parcelles augmentant ainsi brutalement leur infestivité. L'automne est donc également une saison à risque pour les bovins (Almería et al., 1996 ; Wilson et al 2007 ; Thatcher, 2012).

Par ailleurs, l'effet du chargement augmente l'infestivité des parcelles et l'infestation des génisses en retour (Armour, 1980 ; Almerla et al., 1996 ; Vercruysse et Claerebout, 2001 ; Bellet et al., 2018).

D'autre part, l'âge des animaux à la mise à l'herbe semble être un critère important lors de l'infestation des génisses. En effet, les bovins mis à l'herbe avant leur 6 mois ont plus de risque de développer une strongylose clinique (Shaw et al., 1998 ; COWS, 2010). Höglund et al., (2013) confirment ces résultats et montrent que les veaux allaitants plus jeunes à la mise à l'herbe sont plus exposés aux SGI. D'autres travaux montrent des résultats opposés. Ainsi, Merlin et al., (2017a) trouvent que les génisses plus âgées à la mise à l'herbe ont des indicateurs parasitaires plus élevés lors de la rentrée en bâtiment (8,5 vs. 7,1 mois).

L'infestivité est variable d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques (Nogareda, et al., 2006). Le changement de climat pourrait donc modifier l'épidémiologie des SGI (Skuce et al.,

2013 ; Verschave et al., 2016 ; Rose Vineer et al., 2020). Les saisons de pâturage prolongées dans des conditions plus chaudes au printemps et à l'automne présentent de nouveaux risques de transmission (Phelan et al., 2016) pouvant être contrebalancés par de longues périodes de sécheresse suivies de courtes périodes de fortes pluies induisant de la mortalité chez les larves (Rose et al., 2015).

3.2. L'infestation par *Dictyocaulus viviparus*

3.2.1. Biologie de *D. viviparus*

Le cycle parasitaire de *Dictyocaulus viviparus* est homoxène semi-direct (**Figure 5**). L'évolution dans le milieu extérieur des larves L1 en L3 se fait en 4 à 9 jours dans des conditions météorologiques optimales (20 - 25 °C) avec une humidité élevée (Duncan et al., 1979). Les larves L3 sont sensibles au froid et à la dessiccation, sont peu mobiles et ne se nourrissent pas. Les larves L3 restent principalement dans les bouses ou dans les anneaux de répugnance de 15 cm autour des bouses. La dispersion des larves sur les parcelles est favorisée par le délitage des bouses par la pluie, le piétinement, les insectes coprophages et les diarrhées qui disséminent les bouses (Forbes, 2018). La dispersion des L3 se fait aussi par le biais des vers de terre ou l'intervention du champignon *Pilobolus* présent sur les bouses dont le sporange, sur lequel se fixe la larve L3, permet la projection des L3 jusqu'à 3 mètres (Jorgensen et al., 1982).

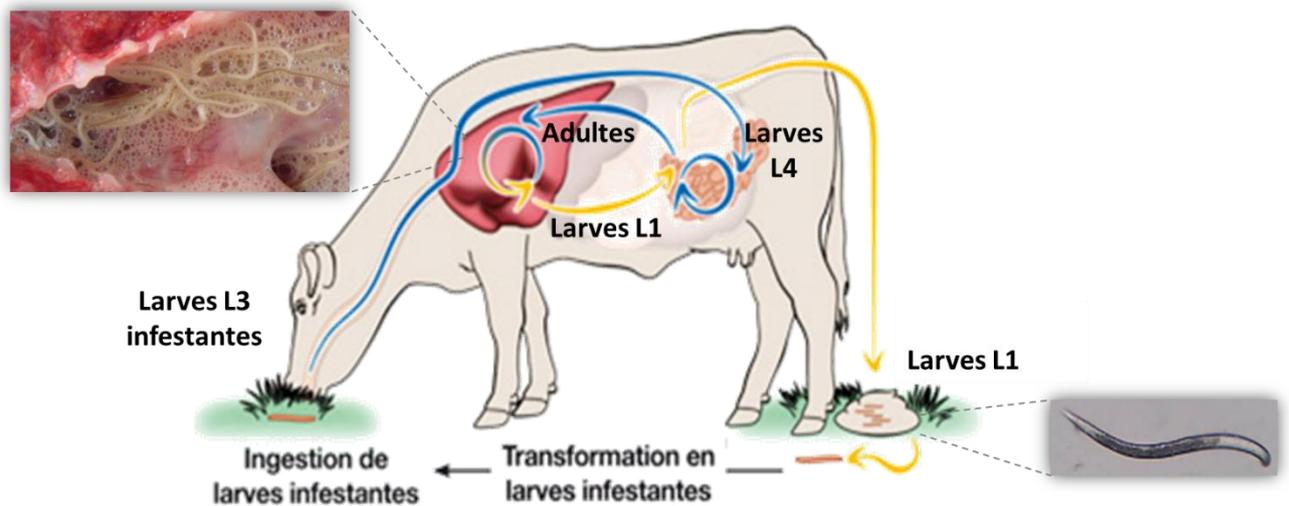


Figure 5 : Cycle évolutif de *D. viviparus* d'après GDS 64 Photos C. Chartier ; E. Peredes Herbach, (2016).

Une fois ingérées par un bovin, les larves L3 sortent de leur enveloppe dans le tube digestif, traversent la paroi intestinale et gagnent les nœuds lymphatiques mésentériques par voie lymphatique. Les larves L3 muent alors en larves L4 et migrent jusque dans le poumon (Forbes, 2018). Les larves L4 se logent ensuite dans les alvéoles pulmonaires et muent en adultes immatures puis matures. Les vers s'installent dans les voies aérifères. Une hypobiose peut se produire à l'entrée de l'hiver : les vers sont arrêtés au stade L4 ou immature dans les poumons durant une période pouvant atteindre 150 jours. Les femelles pondent jusqu'à 25 000 œufs embryonnés par jour qui éclosent dans les voies aérifères (Cabaret et al., 2002 ; Ploeger et Eysker, 2000). Les larves L1 remontent alors le long de l'arbre bronchique, sont dégluties et transitent dans l'appareil digestif avant d'être éliminées dans les fèces. Un bovin infesté élimine jusqu'à 5 millions de L1 par jour. La période prépatente est de 21 à 25 jours.

3.2.2. Conséquences de l'infestation

Les conséquences de l'infestation subclinique sont peu documentées (retard de croissance, baisse de la production laitière). En revanche, la dictyocaulose clinique est bien décrite : elle se déclare

fréquemment 3 mois après la mise à l'herbe (été et début de l'automne), après 2 ou 3 cycles parasitaires permettant d'atteindre une infestivité suffisante (McLeonard et van Dijk, 2017). La sévérité de la clinique est proportionnelle à la quantité de larves ingérées (Ploeger et Eysker, 2002). Au départ, une toux sèche et quinteuse est déclenchée par le déplacement ou la manipulation des animaux. La toux, pouvant être accompagnée de dyspnée, s'étend rapidement à la majorité du lot d'animaux. Les complications de pneumonie bactérienne ne sont pas rares. La dictyocaulose affecte les génisses qui n'ont pas encore développé leur immunité, mais des épisodes cliniques sévères peuvent aussi avoir lieu dans le troupeau adulte si le parasite est introduit dans un élevage jusque-là indemne, en cas de dépassement de la réponse immunitaire des vaches adultes (cf. infra). Ces épisodes cliniques sont à l'origine d'une baisse de la production laitière, des performances de reproduction, de pertes de poids, et peuvent parfois causer la mort d'un ou plusieurs animaux (Schnieder et al. 1993). Enfin, la sensibilisation antigénique vis-à-vis de ce parasite peut provoquer un syndrome de ré-infestation grave présent sur un nombre variable d'animaux, lorsque les larves arrivent dans les poumons au cours de ré-infestation.

3.2.3. Développement de l'immunité

La réponse immunitaire est en général forte et protectrice mais de courte durée et commence à se mettre en place 10 jours après l'infestation (Ploeger et Eysker, 2002). Le développement de l'immunité est lié à l'exposition aux L3 - elle peut apparaître avec de faibles contacts - et à la présence des vers adultes (Van Dijk, 2004). L'immunité se traduit par une diminution de l'installation des larves et de leur développement, et diminue suivant la durée de vie des vers adultes et leur fécondité (Eysker et al., 2001). La mémoire immune vis-à-vis des larves est très courte (4 mois) alors que celle vis-à-vis des vers adultes est plus longue (2 ans). La régularité de l'exposition aux larves et aux vers adultes est importante pour maintenir l'immunité (McLeonard et van Dijk, 2017). La durée de non-pâturage hivernale est pour cela un facteur de risque important à considérer car si cette durée dépasse 6 mois, l'animal est à nouveau réceptif et devra être mis à l'herbe sur des parcelles faiblement infestées pour obtenir une récupération post-hivernale de l'immunité rapide et sans signes cliniques. L'immunité est considérée comme nulle après 12 mois sans contact avec le parasite. Seuls les bovins porteurs (1 à 14 % des animaux selon les études) gardent un contact permanent avec les parasites (Eysker et al., 1994 ; Murphy et al., 2003 ; Chartier et al., 2013). Ces porteurs jouent un rôle protecteur important dans le maintien de l'immunité de l'ensemble du troupeau en assurant une recontamination des parcelles au printemps permettant ainsi la récupération post-hivernale rapide de l'immunité du troupeau (Eysker et al., 2001). Mais à la différence des SGI, l'immunité concomitante acquise peut être dépassée lors de ré-infestations massives (Eysker et al., 2001).

L'immunité forte et protectrice se met rapidement en place mais elle est de courte durée. L'immunité peut être dépassée lors de ré-infestation massives à partir d'introduction d'animaux naïfs dans un lot.

3.2.4. Epidémiologie

L'introduction de *D. viviparus* dans un élevage peut se faire par l'introduction de bovins porteurs (David, 1997) ou par une contamination de voisinage (Taylor et al, 2007). L'introduction d'animaux naïfs dans un lot d'animaux immuns augmente l'infestivité de la pâture (Taylor et al, 2007) et représente un facteur de risque à la fois pour les animaux naïfs et les animaux immuns. Cela peut être le cas lorsque des génisses pâturant jusqu'alors sur des parcelles spécifiques arrivent dans le troupeau laitier. La pression d'infestation peut rester faible grâce à la présence des vaches immunes et ainsi permettre la mise en place d'une immunité chez les primipares. Mais le risque augmente lorsque les conditions météorologiques sont favorables au développement et à la survie des larves augmentant

alors l'infestivité de la parcelle. L'immunité de prémunition des animaux immuns peut alors être dépassée par une rupture de l'équilibre entre l'hôte immun et les parasites.

3.2.5. Examens complémentaires utilisables dans le diagnostic de l'infestation

La dictyocaulose clinique peut apparaître chez les bovins de tout âge. Le diagnostic qualitatif se fait par l'identification de larves L1 dans les matières fécales, par la technique de Baermann à réaliser dans la journée (Eysker, 1997). Les larves L1, de 300 à 360 µm, sont strongyloïdes avec une queue courte et de nombreuses granulations de réserves (**Figure 5**). La mise en évidence de L1 est aussi possible à partir d'un prélèvement réalisé par aspiration transtrachéale. Le diagnostic sérologique à partir d'un ELISA permet de mettre en évidence un contact avec le parasite (von Holtum et al., 2008) mais cette analyse n'est pas commercialisée en France et n'est donc pas utilisée en routine.

3.3. Maîtrise des infestations par les strongles

Les infestations des bovins par les SGI et par les dictyocauls peuvent être maîtrisées par des actions sur le parasite (phase interne et phase libre) ou sur l'hôte.

3.3.1. Actions directes sur les parasites

La lutte contre les SGI repose essentiellement sur l'administration de traitements allopathiques qui éliminent les parasites chez l'hôte (Hoste et al., 2009 ; Charlier et al., 2010, 2014 ; McArthur et Reinemeyer, 2014) et limitent le recyclage parasitaire lorsque les molécules sont rémanentes (Charlier et al., 2010). Depuis les années 1970, l'utilisation curative de ces molécules a évolué en une stratégie préventive visant à maximiser les productions (Craig et Wikse, 1995 ; Vercruysse et Claerebout, 2001). Mais l'emploi massif et répété d'un nombre réduit d'anthelminthiques a induit une forte pression de sélection sur les populations parasitaires et a favorisé l'émergence et la diffusion de populations parasitaires résistantes (Sutherland et Leathwick, 2011 ; Rose et al., 2015). De surcroît, certaines familles d'anthelminthiques ont un impact sur l'environnement au travers leur écotoxicité, notamment vis-à-vis des bousiers et des diptères coprophages (Lumaret et al., 2012). Enfin, une utilisation trop fréquente et inappropriée des anthelminthiques peut empêcher le contact avec les parasites, et retarder l'installation de l'immunité, voire dégrader l'immunité acquise (Claerebout et al., 1998, 1999 ; Eysker et al., 2000 ; Kilani et al., 2003).

L'aromathérapie et la phytothérapie pourraient constituer des alternatives aux médicaments vétérinaires, mais les études visant à démontrer leur efficacité sur des bases objectives sont peu nombreuses. Certains extraits de plantes semblent toutefois avoir une efficacité comprise entre 15 et 71 % (Cabaret et al., 2002). Par ailleurs, l'activité vermicide effective des huiles essentielles se heurte à plusieurs limites comme une mauvaise tolérance digestive aux doses efficaces, une difficulté à les véhiculer jusqu'au siège de l'infestation à cause de leur très forte solubilité, et une complexité de leur composition (Hoste et al., 2009).

Des champignons microscopiques nématophages, dont *Duddingtonia flagrans* le plus étudié, pourraient être utilisés sous forme de compléments alimentaires (Assis et al., 2015). Ce champignon sous la forme de spores est ingéré par le ruminant, passe dans son tube digestif avant d'être excrété dans les fèces. Il développe alors des structures mycéliennes qui piègent les larves des nématodes, rentrent dans la cuticule avant de les détruire complètement (Fontenot et al., 2003 ; da Cruz et al., 2011 ; Arias et al., 2013 ; Li et al., 2016). *In vitro*, la réduction du développement larvaire dans les fèces contenant *Duddingtonia* varie de 54 % à 100 % par rapport aux contrôles (Rocha et al., 2007). Des effets similaires ont été obtenus sur des moutons, des chèvres et des bovins (Chandrawathani et al.,

2004 ; Hoste et al., 2009, 2011 ; Terrill et al., 2012). Cependant une telle approche est difficile à mettre en œuvre sur le terrain car elle demande un apport de spores tous les 1 ou 3 jours pour être efficace (Dimander et al., 2003 ; Charlier et al., 2018). Par ailleurs, l'effet de ces champignons est limité lors des fortes pluies qui diluent les bouses (Dimander et al., 2003). Ces champignons sont actuellement seulement commercialisés en Australie (Knox et al., 2013).

Les légumineuses, comme le sainfoin, contenant des tanins condensés et des polyphénols ont des propriétés anthelminthiques directes confirmées chez les ruminants (Sandoval-Castro et al., 2012 ; Novobilský et al., 2011, 2013 ; Desrues et al., 2015 ; Hoste et al., 2015 ; Pena-Espinoza et al., 2016). Ces fourrages, présents sur tous les continents, pourraient améliorer le contrôle des SGI (Hoste et al., 2015 ; Charlier et al., 2018). Mais, la pharmacocinétique et l'activité des différents tannins dans l'hôte doivent être étudiées ainsi que les interactions complexes entre les divers composés végétaux avant de pouvoir recommander leurs usages en élevages (Klongsiriwet et al., 2015 ; Ropiak et al., 2016 ; Hansen et al., 2016 ; Gaudin et al., 2016).

3.3.2. Actions sur l'hôte

La résistance d'un animal aux strongles digestifs et respiratoires est définie comme l'aptitude à limiter les charges parasitaires. Il est possible de renforcer les mécanismes de défense de l'hôte par l'amélioration de la nutrition, la vaccination et la sélection génétique (Hoste et Torres-Acosta, 2011).

Les déficits induits par les parasites digestifs chez les ruminants affectent particulièrement le métabolisme protéique. L'augmentation de l'apport en protéines directement assimilables par l'intestin grêle peut permettre de couvrir l'augmentation des besoins nutritionnels occasionnée par les SGI et ainsi de favoriser la résilience des animaux et éventuellement leur résistance (Coop et al., 1996). Cependant en raison des coûts élevés des protéines, il est important de cibler les périodes et les animaux d'intérêts et d'ajuster la ration pour maximiser les bénéfices (Hoste et al., 2009 ; Hoste et Torres-Acosta, 2011).

La sélection génétique d'animaux résistants pourrait être une solution à long terme. Les travaux chez les ovins sont bien avancés (Hoste et Torres-Acosta, 2011), mais chez les bovins, ces pistes sont peu explorées. De plus, la sélection peut présenter des limites tel que le risque d'augmenter la sensibilité des hôtes à d'autres agents pathogènes, ou d'avoir un effet défavorable sur la productivité (Hoste et al., 2009).

Aucun vaccin commercial vis-à-vis des SGI n'existe pour les bovins, mais plusieurs approches expérimentales sont à différents stades d'avancement (Matthews et al., 2016). La vaccination avec des protéines sécrétées par *O. ostertagi* et *C. oncophora* permet une bonne réduction de l'excrétion fécale chez les bovins (Geldhof et al., 2003 ; Vlaminck et al., 2015). Un vaccin destiné à stimuler l'immunité des bovins vis-à-vis de *D. viviparus* à partir de larves L3 irradiées existe déjà depuis plusieurs décennies (Bovilis® Dictol) mais n'est pas distribué en France. Ce vaccin ne permet pas l'acquisition d'une immunité complète et l'infestation par les vers adultes est nécessaire pour obtenir une immunité consolidée et plus durable (Van Dijk, 2004).

3.3.3. Actions sur les stades libres

Pour maîtriser le niveau d'exposition des animaux aux larves infestantes se trouvant dans l'herbe, on distingue trois stratégies dans la conduite du pâturage : la prévention, l'évasion et la dilution (Charlier et al., 2015 ; Wilson et al., 2015).

3.3.3.1. La stratégie préventive

La stratégie préventive vise à introduire des animaux peu ou pas parasités sur des parcelles saines en associant éventuellement un traitement anthelminthique dans les trois semaines après la mise à

l'herbe dans le but de maintenir l'infestation à un niveau très bas. L'assainissement des parcelles peut être obtenu en réalisant une mise au repos hivernale d'au moins 6 à 8 mois. La fauche peut aussi assainir les parcelles en éliminant mécaniquement les larves et en permettant de diminuer l'hygrométrie du sol en l'absence d'un couvert végétal (Eysker 2001 ; Bennema et al., 2010 ; COWS, 2010). De plus, les parcelles fauchées retardent la mise à l'herbe, ce qui augmente la mortalité des L3 transhivernantes et diminue l'infestivité des pâturages (Bellet et al., 2018). Le labour profond ou le pâturage des bovins après une culture sont des moyens d'assainir complètement une parcelle car les parasites sont ensevelis et meurent (Stromberg et Averbeck, 1999). Une parcelle retournée tous les 2 ou 3 ans permet de maintenir une infestivité modérée (Eysker 2001 ; Larsson et al., 2007).

3.3.3.2. La stratégie d'évasion

La stratégie d'évasion ou d'évitement vise à déplacer les animaux vers des parcelles saines avant que l'infestivité de la parcelle ne soit trop importante (Barger, 1997 ; Hoste et al., 2009 ; Hoste et Torres-Acosta, 2011). La stratégie « dose and move » associée à cette pratique un traitement anthelminthique lors du déplacement vers la parcelle saine. Cette stratégie est très efficace pour gérer le risque parasitaire mais elle présente un risque élevé sur le long terme car principalement les parasites ayant survécus au traitement anthelminthique subsistent sur la parcelle (Torres-Acosta et Hoste, 2008). Cette stratégie d'évasion peut aussi s'obtenir *via* la rotation de pâturages. Toutefois, l'efficacité de ces rotations pour maintenir une infestivité basse est dépendante des conditions météorologiques. Par exemple, sous un climat tempéré, le temps de non-utilisation d'une des parcelles en rotation est généralement insuffisant pour obtenir son assainissement (avec une survie des stades infestants durant plusieurs mois). Tous les systèmes de rotation ne se valent pas, mais la rotation permet tout de même de limiter le nombre de cycles parasitaires et donc d'obtenir une infestivité des pâtures moindre qu'en pâturage continu (Chartier, 2000 ; Ravinet et al., 2019).

3.3.3.3. La stratégie de dilution

La stratégie de dilution repose sur le fait de faire pâturer sur les mêmes parcelles des hôtes de réceptivités différentes vis-à-vis des SGI. Ces hôtes peuvent être de la même espèce ou d'espèces différentes. Les animaux non ou peu réceptifs consomment des larves L3 et n'excrètent que peu d'œufs et ont ainsi un effet assainissant sur les parcelles (Höglund et al., 2013). Les animaux peuvent pâturer de manière simultanée (pâturage mixte) ou alternativement (pâturage alterné) sur les parcelles.

Pâturage mixte ou alterné d'espèce différentes

Il peut être intéressant de faire pâturer les bovins avec d'autres espèces d'herbivores très peu (équins) ou peu réceptives (caprines et ovines) aux parasites des bovins. Le pâturage des génisses avec des moutons diminue significativement l'exposition des génisses à *O. ostertagi* (Bellet et al., 2018) car les moutons, non réceptifs à ce parasite, agissent comme des hôtes cul-de-sac (Waller, 2006 ; COWS, 2010). Il existe cependant un risque d'infestations croisées avec *Cooperia oncophora* et *Trichostrongylus axei* qui peuvent être recyclés par les petits ruminants et les bovins. Ainsi, le pâturage alterné ovins-bovins pourrait être efficace seulement sur quelques années (Bairden et al., 1995). De plus, les agneaux fortement exposés à *O. ostertagi* peuvent tout de même avoir des lésions d'hypertrophie de la caillette et des problèmes de croissance (Coop et al., 1985). Cette pratique présente une autre limite d'ordre technique car il existe de moins en moins d'exploitations en France avec à la fois une activité bovine et ovine (Prache et al., 2013).

Le pâturage chevaux-bovins est en théorie très intéressant mais en pratique peu réalisé en France (Chartier et Camuset, 2012). Le pâturage mixte bovins-porcs diminue également l'infestivité de la parcelle, notamment pour *O. ostertagia*, lorsque les porcs fouillent le sol (Fernandez et al., 2001).

Pâturage mixte ou alterné d'animaux de la même espèce

Les bovins plus âgés, immuns, sont peu affectés par les SGI par rapport aux génisses de 1^{ère} année. Les bovins immuns peuvent, en effet, ingérer une quantité importante de larves L3 tout en excréant peu d'œufs dans les fèces (Forbes 2016) diminuant ainsi l'infestivité des parcelles (Barger, 1997 ; Svensson et al., 2000).

Il a été montré que le mélange de génisses de SP1 et de SP2 diminuait les signes cliniques de strongyloses digestives des animaux les plus jeunes (Nansen et al., 1990 ; Šarkunas et al., 2000). Cette conduite présente tout de même des limites par le fait qu'elle soumet les génisses de SP2, parfois encore en cours d'acquisition d'immunité vis-à-vis d'*O. ostertagia*, à une infestation pouvant être importante. De plus les bovins en SP2 excrètent principalement des œufs d'*O. ostertagi* (Agneessens et al., 2000 ; Eysker et al., 2002 ; Larsson et al., 2006) et augmentant alors principalement l'infestivité des parcelles avec ce parasite.

Le pâturage alterné génisses avec des vaches semble également intéressant en élevage laitier en suivant le système leader-follower. Dans ce système de pâturage alterné, les jeunes animaux en cours d'acquisition d'immunité pâturent en premier sur les parcelles encore peu contaminées. Le passage suivant est effectué par des animaux immuns (ou une d'autre espèce), sur une herbe plus rase avec une pression d'infestation plus élevée. Les vaches assainissent alors les parcelles en ingérant plus de larves qu'elles n'excrètent d'œufs (Thatcher, 2012). Néanmoins, cette pratique augmente l'exposition des vaches aux SGI qui peuvent être plus sensibles lors d'un relâchement de l'immunité au vêlage (Armour, 1980 ; Caldwell et al., 2002 ; Bellet et al., 2018).

Le pâturage des veaux avec des vaches adultes, comme c'est le cas en élevage allaitant, permet de combiner l'effet assainissant à la ration principalement lactée des veaux. Les veaux consomment peu d'herbe ce qui engendre une moindre exposition aux larves infestantes. Le risque parasitaire pourrait également être diminué par l'effet défavorable du lait sur les parasites (Zeng et al., 2003). On considère que le pâturage des veaux avec des vaches allaitantes permet de réduire par 5 l'infestivité des parcelles par rapport aux génisses pâturent seules (Barger, 1997). En effet, les veaux allaitants ne montrent généralement pas d'ostertagiose avant le sevrage (Craig, 2018). Il est également rapporté qu'en système laitier, les génisses laitières en SP1 pâturent avec des vaches tarées sont moins à risque que celles pâturent seules (Vanderstichel et al., 2012).

Néanmoins, ce bénéfice est à nuancer en fonction de l'âge des veaux à la mise à l'herbe. En effet, la quantité d'herbe que les veaux ingèrent dès le début n'est pas la même pour des veaux nés peu de temps avant la mise à l'herbe au printemps, par rapport à des veaux plus âgés (nés durant l'automne ou l'hiver précédent). Ces derniers ont un ratio herbe/lait plus important ainsi qu'une capacité d'ingestion plus élevée. L'excrétion et le recyclage parasites qui en découlent sont donc différents (Höglund, et al., 2013). Selon Agneessens et al. (1997), le recyclage larvaire est majoritairement assuré par les veaux nés en hiver alors que les veaux nés au printemps, ne consommant pas suffisamment d'herbe au départ, et n'assurent le recyclage qu'après l'été.

Dans le cas de la dictyocaulose, le mélange d'âges permet la contamination des jeunes et donc le développement de leur immunité. Cependant, un trop fort recyclage parasitaire par les jeunes est à même d'induire des manifestations cliniques chez les jeunes mais aussi chez les adultes dont les capacités immunitaires seraient dépassées (Jørgensen, 1981 ; Šarkunas, et al., 2000). De même, le risque d'infestation vis-à-vis de la dictyocaulose est plus élevé lorsque les génisses SP1 pâturent après ou avec des génisses SP2 ou des vaches (Schnieder et al., 1993 ; Höglund et al., 2004).

La stratégie de dilution consiste à faire pâturer simultanément ou en alternance, les génisses naïves avec des animaux peu ou pas réceptifs vis-à-vis des parasites et engendre un effet assainissant sur les parcelles donc, une moindre exposition des animaux naïfs.

3.4. Annonce du 3^{ème} objectif de la thèse

La conduite des veaux avec des vaches nourrices implique la présence de vaches adultes parmi les veaux durant la SP1, ce qui pourrait modifier l'épidémiologie des infestations par les strongles digestifs et respiratoires par rapport au système classique d'élevage des génisses laitières (séparation précoce des adultes, pâturage des génisses sevrées seules (sans adultes) sur des parcelles spécifiques). On pourrait faire un parallèle entre cette conduite des veaux laitiers sous nourrices avec les veaux pâturant sous la mère en système allaitant, mais un point de différence majeur est le ratio veaux/vaches adultes. La conduite des veaux sous nourrices n'est donc comparable à aucun autre système. De plus, des différences de conduite pourraient exister au sein de ce système des veaux sous nourrices entraînant de la variabilité intra-système du risque parasitaire vis-à-vis de ces deux parasites majeurs.

En outre, l'infestation par les strongles en SP2 étant liée à l'historique d'infestation en SP1, les modifications épidémiologiques suspectées en SP1 pourraient entraîner des conséquences sur l'infestation des génisses issues de ces lots de veaux sous nourrices lorsqu'elles sont en SP2.

A notre connaissance, aucune étude n'a encore été réalisée concernant l'infestation par les strongles digestifs et respiratoires dans ce système d'élevage des veaux laitiers.

Les questions qui se posent sont les suivantes : La conduite des veaux sous nourrices est-elle protectrice vis-à-vis des strongles digestifs malgré une potentielle longue saison de pâturage ? L'exposition est-elle trop faible durant la SP1 rendant les génisses à risque durant leur SP2 ? Le risque de dictyocaulose est-il augmenté avec cette conduite ? Quelles différences influençant le risque parasitaire existent au sein de cette conduite ?

Le 3^e objectif de cette thèse est donc d'évaluer les infestations par les strongles digestifs et respiratoires des veaux et de leurs vaches nourrices durant la 1^{ère} saison de pâturage et leurs conséquences sur les génisses de 2^e saison de pâturage.

4. Stratégies d'analyses et plan de thèse

4.1. Rappels des objectifs de la thèse

Depuis 2010, l'élevage des veaux laitiers sous vaches nourrices se développe sur le terrain, notamment en AB. Il s'agit d'une pratique expérimentée directement par les éleveurs, mais qui reste peu documentée sur le plan scientifique car (i) aucune étude descriptive précise des différentes phases d'élevage et de leurs éventuelles variations entre élevages n'a été conduite, (ii) il n'y a pas de données publiées sur la façon dont les éleveurs perçoivent ce mode d'élevage lorsqu'ils l'ont mis en place, (iii) les données sur la santé des veaux ainsi élevés n'abordent la santé que de manière globale sans apporter de connaissances épidémiologiques spécifiques à certaines maladies majeures des veaux.

L'objectif général de la thèse était donc de produire des connaissances scientifiques relatives à cette conduite d'élevage sur le plan zootechnique et sur le plan sanitaire. Le **premier objectif** de la thèse était de décrire précisément cette conduite d'élevage des veaux laitiers, et d'appréhender la perception que les éleveurs en ont. Le **second** et le **troisième objectifs** s'intéressaient à l'étude épidémiologique de deux parasitoses majeures des veaux lors de deux périodes clés : la cryptosporidiose en période néonatale et les strongyloses gastro-intestinales et respiratoires lors des deux premières saisons de pâturage.

4.2. Stratégie générale

Nous avons choisi de réaliser les travaux de cette thèse dans des fermes commerciales biologiques pour étudier comment cette conduite était réalisée sur le terrain, en interaction avec des éleveurs ayant mis en place, expérimenté et éprouvé ce mode d'élevage. La ferme expérimentale INRAE de Mirecourt (unité ASTER) a été rajoutée à notre échantillon d'étude car l'élevage des veaux sous nourrices y avait été mis en place depuis 2016 en s'appuyant sur ce qui existait sur le terrain (on pouvait donc s'attendre à ce que la conduite des veaux n'y diffère pas).

Le recrutement des troupeaux a été conduit en 2018 et a été complété en 2019, selon les critères suivants : élevage bovin laitier en AB situé dans le Grand-Ouest de la France, pratiquant la conduite des veaux sous nourrices (au moins 10 veaux ainsi élevés), avec une période de pâturage au cours de laquelle les veaux restent avec les nourrices. De tels troupeaux ont pu être identifiés en contactant tout d'abord divers organismes professionnels tels que les Groupements d'Agriculteurs Biologiques (GAB) et les Chambres d'Agriculture de Bretagne et de Pays de la Loire ainsi que les cliniques vétérinaires partenaires de l'UMR BIOEPAR (INRAE-Oniris). Ensuite, le réseau des éleveurs ayant mis en place cette conduite d'élevage a pu être utilisé (un éleveur identifié indiquait alors des contacts d'autres éleveurs). De plus, deux études préalables, conduites par des étudiants ingénieurs de VetAgroSup, sur l'élevage des veaux laitiers avec des vaches adultes (mère ou nourrices), ont également permis de rentrer en contact avec des éleveurs du Grand-Ouest ayant mis en place cette pratique (Michaud et al., 2018 ; Belluz, 2018). Cette phase de recrutement a permis d'identifier une cinquantaine d'élevages.

Une vingtaine d'élevages (les plus proches d'Oniris et ayant donné leur consentement éclairé pour poursuivre les travaux relatifs à cette thèse) ont ensuite été retenus pour conduire les études épidémiologiques de la cryptosporidiose (objectif n°2) et des strongyloses gastro-intestinales et respiratoires (objectif n°3). En effet, ces études impliquant des suivis rapprochés des animaux avec plusieurs visites (cf. § 4.3.2 et 4.3.3 ci-dessous), nous avons cherché à limiter la distance entre Oniris et notre échantillon d'étude. C'est également dans ces élevages qu'ont été conduits auprès des

éleveurs des entretiens qualitatifs semi-directifs (pour répondre à l'objectif n°1), ce qui permettait d'analyser au plus près l'épidémiologie des maladies étudiées en fonction de la conduite décrite par les éleveurs.

En ce qui concerne la cryptosporidiose et les strongyloses gastro-intestinales et respiratoires, l'idéal aurait été de disposer, dans chaque ferme suivie, d'un lot témoin de veaux élevés selon la conduite classique, c'est-à-dire sans nourrice, afin d'appréhender rigoureusement un lien de causalité entre cette méthode d'élevage des veaux et l'épidémiologie de ces parasitoses. Toutefois, cela n'était pas compatible avec le fait de conduire nos travaux dans des fermes commerciales de terrain. En effet, il n'aurait pas été possible d'identifier plusieurs fermes élevant les veaux de manière mixte (classiquement et sous nourrices), et il n'aurait pas non plus été possible de demander aux éleveurs de construire un tel lot témoin car cela aurait totalement bouleversé leurs habitudes de travail, avec le risque de biaiser nos mesures. Nous n'avons donc pas pu élaborer un dispositif d'étude basé sur la comparaison de lots de veaux sous nourrices et de lots de veaux témoins. Nous avons donc fait le choix de mettre en place des études observationnelles descriptives basées sur des mesures avec des suivis de veaux sous nourrices, en conditions réelles de terrain, afin de décrire et d'analyser ces infections/infestations du pré-troupeau, puis de comparer ces connaissances ainsi produites à des données très récentes sur l'épidémiologie de la cryptosporidiose et des strongyloses digestives en troupeaux bovins laitiers élevant les veaux de manière classique dans le Grand-Ouest de la France donc dans une même zone géographique que celle de notre échantillon d'étude grâce aux études de Delafosse et al. (2015) et de Merlin et al. (2016, 2017a, 2017b).

4.3. Stratégies spécifiques à chaque objectif de la thèse

4.3.1. Mise en œuvre de la conduite des veaux sous nourrices en France et perception des éleveurs

Pour comprendre comment les éleveurs ont connu la conduite des veaux sous nourrices, comment elle est réalisée au sein de leur exploitation et comment ils la perçoivent, des entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de chacun des 20 éleveurs, en suivant un guide d'entretien, avec une écoute active (c'est-à-dire avec une écoute bienveillante, sans interpréter ce qui est dit), un discours neutre et des relances (Brinkmann et Kvale, 2014). Ces entretiens qualitatifs étaient adaptés à notre objectif car ils révèlent un éventail d'expériences et d'attitudes pour une question donnée (Brinkmann et Kvale, 2014).

Lors de ces entretiens, des informations ont été collectées sur des caractéristiques de la ferme (taille, race, date de la conversion au bio, date de mise en place de la conduite, ...) et de l'éleveur (âge, niveau d'étude, participation à des groupes d'échange ou formation). L'analyse des données ainsi récoltées a été réalisée en s'inspirant de la théorie ancrée (Charmaz, 2014). Cette théorie est une méthode couramment utilisée en recherche qualitative et consiste à coder les éléments qui se répètent puis à les analyser. Cette étude a été réalisée lors d'un séjour au Danemark, en collaboration avec Mette Vaarst (Department of Animal Sciences, Aarhus University, Denmark), cheffe du projet Européen GrazyDaisy dans lequel s'inscrit ma thèse.

4.3.2. Description des phases d'élevages des veaux de la naissance à la mise à l'herbe et étude de l'infection par *Cryptosporidium* en période néonatale

Afin de pouvoir décrire l'infection par *Cryptosporidium* et sa variabilité en lien avec les éventuelles modifications de conduite au sein de ce système d'élevage des veaux sous nourrices, il fallait (i) décrire très précisément les différentes phases d'élevage lors du premier mois de vie des veaux avant leur mise à l'herbe, et en parallèle (ii) mesurer l'infection par *Cryptosporidium* au travers de l'excrétion

fécale d'ookystes. Le choix d'une étude transversale dans 20 élevages en 2019 a été fait en raison des caractéristiques de l'infection (périodes prépatentes et patentes courtes avec une fenêtre d'excrétion resserrée) permettant une approche des facteurs de risque très largement utilisée dans la littérature incluant l'étude faite dans l'Ouest de la France en système d'élevage classique (Delafosse et al., 2015). L'analyse des facteurs de risques a pu être enrichie par l'intégration de veaux non élevés sous nourrices et destinés à la vente. Dans cette approche, l'unité épidémiologique retenue a été l'animal.

4.3.3. Etude de l'infestation par les strongles en première et deuxième saison de pâturage

Pour apprécier la dynamique d'infestation au cours des deux saisons de pâturage, le choix d'une étude longitudinale se basant sur des suivis rapprochés d'infestation par les SGI a été mise en place. Les veaux ont tout d'abord été suivis en SP1 alors qu'ils pâturaient avec leurs nourrices. Puis, ce suivi a été prolongé sur ces mêmes veaux devenus génisses sevrées en SP2 alors qu'elles pâturaient seules sans nourrice. L'infestation a été suivie au travers de 3 marqueurs classiques de l'infestation par les SGI : le nombre d'œufs de SGI excrétés dans les fèces, le niveau de pepsinogène sérique et le niveau d'anticorps anti-*Ostertagia*.

Le suivi d'infestation par les SGI en SP1 a été conduit en deux temps :

1) en 2018, dans 24 élevages, en se basant uniquement sur des mesures de l'infestation des veaux nés en 2018 à la rentrée en stabulation.

2) En 2019, dans 20 élevages, en se basant sur un suivi rapproché de l'infestation des veaux nés en 2019 et des nourrices, avec 4 points de prélèvement tout au long de la SP1. En 2019, ce suivi des SGI a été complété par un suivi d'infestation par les strongles respiratoires (enregistrement des toux, recherche des larves L1 en cas de toux, et mesure du niveau d'anticorps anti-*Dictyocaulus*).

Le suivi d'infestation par les SGI a été poursuivi en 2020 (SP2) sur les génisses issues des lots de veaux sous nourrices suivis en SP1 en 2019. Ces génisses ont été prélevées à 3 reprises tout au long de la SP2.

En SP1 comme en SP2, des données ont été collectées sur la conduite du pâturage de chacun des lots, afin d'identifier d'éventuelles variations susceptibles d'avoir un impact sur l'infestation en SP1 et/ou en SP2. La variabilité inter-lot d'infestation selon ces variations de conduite au sein même de ce système d'élevage a ainsi pu être explorée.

L'épidémiologie des strongyloses étant gouvernée par l'état immunitaire des animaux et la conduite au pâturage, pour chaque année et dans chaque ferme, l'unité épidémiologique considérée a été le lot, c'est-à-dire un ensemble de veaux conduits avec leurs nourrices en SP1 - ou génisses seules en SP2 - caractérisé par un même schéma de pâturage (même date de mise à l'herbe et de rentrée, même utilisation des parcelles). Un ou plusieurs lots était présent par élevage.

4.4. Plan de la thèse

Après cette introduction générale (**chapitre 1**), le **chapitre 2** est dédiée à la description de la mise en œuvre de la conduite des veaux sous nourrices et de la perception que les éleveurs en ont dans le contexte agricole actuel (**article 1**).

Le **chapitre 3** présente une description détaillée de cette conduite d'élevage durant le premier mois de vie des veaux, associée à l'évaluation de la prévalence et de l'intensité d'excrétion d'oocystes de *Cryptosporidium* des veaux âgés de 5 à 21 jours ainsi que l'analyse des facteurs de risques d'infection dans ce système veaux sous nourrices (**article 2**).

Le **chapitre 4** décrit les dynamiques d'infestation par les SGI des veaux sous nourrices durant la SP1 (**Chapitre 4.1, article 3**) et durant la SP2 alors que les génisses pâturent seules (**chapitre 4.2**). Les

facteurs de variations de l'infestation par les SGI liés aux caractéristiques de conduite en SP1 et en SP2 y sont présentés. L'infestation par *Dictyocaulus* et ses facteurs de variation sont abordés de manière plus succincte durant la SP1 dans le **chapitre 4.1, l'article 3**.

Enfin, le **chapitre 5** présente la discussion générale de la thèse. La synthèse et les forces et faiblesses du dispositif d'étude y seront tout d'abord présentées. Puis, une discussion autour de la question : « pourquoi élever des veaux laitiers avec des vaches nourrices ? » sera présentée ainsi que les perspectives d'application et de recherche.

Références :

- Agence bio, 2020. La consommation bio en hausse en 2019 stimule la production et la structuration des filières françaises. Dossier Presse. pp.32.
- Agneessens J., Dorny P., Hollanders W., Claerebout E., Vercruyse J., 1997. Epidemiological observations on gastrointestinal nematode infections in grazing cow-calf pairs in Belgium. *Vet. Parasitol.* 69, 65–75. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01116-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01116-8)
- Agneessens, J., Claerebout, E., Dorny, P., Borgsteede, F.H.M., Vercruyse, J., 2000. Nematode parasitism in adult dairy cows in Belgium. *Vet. Parasitol.* 90, 83-92.
- Al Mawly J., Grinberg A., Prattley D., Moffat J., Marshall J., French N., 2015. Risk factors for neonatal calf diarrhoea and enteropathogen shedding in New Zealand dairy farms. *Vet. J.* 203, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.01.010>
- Almería S., Llorente M.M., Uriarte J., 1996. Monthly fluctuations of worm burdens and hypobiosis of gastrointestinal nematodes of calves in extensive management systems in the Pyrenees (Spain). *Vet. Parasitol.* 67, 225–236. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01037-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01037-0)
- Altieri, M., Nicholls, C., 2001. Ecological Impacts of Modern Agriculture in the United States and Latin America, in: *Globalization and the Rural Environment*. pp. 123–137.
- Alvarez, F.J., Saucedo G., Arriaga A., Preston T. R., 1980. Effect on milk production and calf performance of milking crossbred European/Zebu cattle in the absence or presence of the calf, and of rearing their calves artificially. *Trop. Anim. Prod.* 5, 25-37.
- Alves M., Xiao L., Sulaiman I., Lal A.A., Matos O., Antunes F., 2003. Subgenotype analysis of *Cryptosporidium* isolates from humans, cattle, and zoo ruminants in Portugal. *Journal of Clinical Microbiology* 41, 2744–2747.
- Anderson N., Armour J., Jarrett W.F.H., Jennings F.W., Ritchie J.S.D., Urquhart G.M., 1965. A field study of parasitic gastritis in cattle. *Vet. Rec.* 77, 1196–1204.
- Anderson R.C., 1992. *Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission*. 2nd edition. CABI publishing. pp. 672.
- Appelbee A.J., Frederick L.M., Heitman T.L., Olson M.E., 2003. Prevalence and genotyping of *Giardia duodenalis* from beef calves calves in Alberta, Canada. *Vet. Parasitol.* 112, 289–294.
- Arias M. S., Suarez J., Cazapal-Monteiro C. F., Francisco I., Lopez-Arellano M. E., Pineiro P., PazSilva, A. 2013. Trematodes enhance the development of the nematode-trapping fungus *Arthrotrrys (Duddingtonia) flagrans*. *Fungal Biology*, 117 (7–8), 540–544. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2013.06.003>
- Armour J., 1970. Bovine ostertagiasis: a review. *Veterinary Record* 86, 184-9.
- Armour J., 1980. The epidemiology of helminth disease in farm animals. *Vet. Parasitol.* 6, 7–46.
- Armour J., Ogbourne C.P., 1982. Bovine ostertagiasis: A review and annotated bibliography. *Misc. Publ. No. 7*, Commonwealth Institute of Parasitology, Farnham Royal, UK, pp. 93.
- Armour J., Duncan M., 1987. Arrested larval development in cattle nematodes. *Parasitol. Today.* 3, 171–176. [https://doi.org/10.1016/0169-4758\(87\)90173-6](https://doi.org/10.1016/0169-4758(87)90173-6)
- Armour J., 1989. The influence of host immunity on the epidemiology of trichostrongyle infections in cattle. *Vet. Parasitol.* 32, 5-19.
- Assis R. C., Luns F. D., de Araujo J. V., Braga F. R., Assis R. L., Marcelino J., Andrade M. A., 2015. An

- isolate of the nematophagous fungus *Monacrosporium thaumasium* for the control of cattle trichostrongyles in south-eastern Brazil. *Journal of Helminthology*, 89 (2), 244–249. <https://doi.org/10.1017/S0022149X14000091>
- Atwill E.R., Harp J.A., Jones T., Jardon P.W., Checel S., Zylstra M., 1998. Evaluation of periparturient dairy cows and contact surfaces as a reservoir of *Cryptosporidium parvum* for calfhood infection. *Am. J. Vet. Res.* 59, 1116–1121.
- Atwill E.R., Pereira M.G.C., 2003. Lack of Detectable Shedding of *Cryptosporidium parvum* Oocysts by Periparturient Dairy Cattle. *J. Parasitol.* 89, 1234–1236. <https://doi.org/10.1645/ge-3192rn>
- Aubry J., Belluz M., Bignon E., Gaubert J., Gaudel C., Nicolas D., Redon M., Reinhardt J., Reynaud E., Richard C., Theraulaz C., Verdier F., 2018. Déléguer l’allaitement des veaux aux vaches ? pp. 75.
- Bairden K., Armour J., Duncan J.L., 1995. A 4-year study on the effectiveness of alternate grazing of cattle and sheep in the control of bovine parasitic gastro-enteritis. *Veterinary Parasitology*, 60, 119-132.
- Barger I., 1997. Control by management. *Veterinary Parasitology*, 72, 493-506.
- Bar-Pelled U., Maltz E., Bruckental I., Folman Y., Kali Y., Gacitua H., Lehrer A.R., Knight C.H., Robinzon B., Voet H., Tagari H., 1995. Relationship Between Frequent Milking or Suckling in Early Lactation and Milk Production of High Producing Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 78, 2726–2736. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76903-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76903-X).
- Bartels C.J.M., Holzhauser M., Jorritsma R., Swart W.A.J.M., Lam T.J.G.M., 2010. Prevalence, prediction and risk factors of enteropathogens in normal and non-normal faeces of young Dutch dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 93, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.09.020>
- Beaver A., Meagher R.K., von Keyserlingk M.A.G., Weary D.M., 2019. Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. *J. Dairy Sci.* 102, 5784–5810. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603>.
- Becher K.A., Robertson I.D., Fraser D.M., Palmer D.G., Thompson R.C.A., 2004. Molecular epidemiology of *Giardia* and *Cryptosporidium* infections in dairy calves originating from three sources in Western Australia. *Vet Parasitol* 123, 1–9.
- Bellet C., Green M. J., Vickers M., Forbes A., Berry E., Kaler J., 2016. *Ostertagia* spp., rumen fluke and liver fluke single- and poly- infections in cattle: An abattoir study of prevalence and production impacts in England and Wales. *Prev. Vet. Med.* 132, 98–106.
- Bellet C., Green M.J., Bradley A.J., Kaler J., 2018. A longitudinal study of gastrointestinal parasites in English dairy farms. Practices and factors associated with first lactation heifer exposure to *Ostertagia ostertagi* on pasture. *J. Dairy Sci.* 101, 537–546. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12952>
- Belluz M. 2018. L’élevage des veaux laitiers par des vaches adultes, une technique innovante en élevage biologique. Mémoire de fin d’étude, VetAgro-Sup, pp. 40.
- Bennema S. C., Vercruyse J., Morgan E., Stafford K., Hoglund J., Demeler J., von Samson-Himmelstjerna G., Charlier J. 2010. Epidemiology and risk factors for exposure to gastrointestinal nematodes in dairy herds in northwestern Europe. *Vet. Parasitol.* 173, 247–254.
- Berthet E.T., Barnaud C., Girard N., Labatut J., Martin G., 2015. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J. of Environ. Plan. Manag.* 1-22.
- Betancourt W.Q., Rose J.B., 2005. Microbiological assessment of ambient waters and proposed water sources for restoration of a Florida wetland. *J. Water. Health.* 3, 89-100.

- Beudou J., Martin G., Ryschawy J., 2017. Cultural and territorial vitality services play a key role in livestock agroecological transition in France. *Agron. Sustain. Dev.* 37-36.
- Bignon E., 2017. Etes-vous prêt à faire élever vos veaux par des vaches nurses ? *Réussir Lait.* 315, 6.
- Boom C.J., Sheath G.W., 2008. Migration of gastrointestinal nematode larvae from cattle faecal pats onto grazable herbage. *Vet Parasitol.* 157, 260-266.
- Boonbrahm N., Peters K., Kijora C., 2004. The influence of calf rearing methods and milking methods on performance traits of crossbred dairy cattle in Thailand 3. Calf performance. *Arch. Tierzucht* 47, 405–414.
- Borgsteede F.H.M., Tibben J., Cornelissen J.B., Agneessens J., Gaasenbeek C.P., 2000. Nematode parasites of adult dairy cattle in The Netherlands. *Vet. Parasitol.* 89, 287–296.
- Brinkmann S., Kvale, S., 2014. *InterViews: Learning The craft of qualitative research interviewing.* Third Edition. pp. 424.
- Brocard V., Delaby L., Seuret J., Philipps T., 2008. Les systèmes fourragers du nord-ouest de l'Europe : de l'herbe pâturée pour produire du lait. *Fourrages*, 196, 425-446.
- Brochard M., Boichard D., Ducroq V., Fritz S., 2013. La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. *INRA Productions Animales*, 26(2), 145-156.
- Brook E., Hart C.A., French N., Christley R., 2008. Prevalence and risk factors for *Cryptosporidium* spp. infection in young calves. *Vet. Parasitol.* 152, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.12.003>
- Broom D.M., Fraser A.F., 2015 *Domestic Animal Behaviour and Welfare*, 5th Edn. Oxford, UK : CABI. pp. 472.
- Brunet L., Coquil X., Trommenschlager J., 2016. Elever des veaux laitiers sous des vaches nourrices : entre réduction du travail et amélioration des performances animales. *Rench. Renc. Ruminants* 23, 269.
- Busch G., Weary D.M., Spiller A., Von Keyserlingk M.A.G., 2017. American and German attitudes towards cowcalf separation on dairy farms. *PLoS One* 12, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174013>
- Butler S.T., 2014. Nutritional management to optimize fertility of dairy cows in pasture-based systems. *Animal*, 8(1), 15-26.
- Cabaret J., Bouilhol M., Mage C., 2002. Managing helminths of ruminants in organic farming. *Veterinary Research*, 33, 625-640.
- Caldwell V., Descoteaux L., Bouchard E., Dutremblay D., Dohoo I., Markham F. 2002. Gastrointestinal nematodes in Quebec dairy cattle: herd prevalence, level of infection estimated by bulb tank milk ELISA testing and related risk factors. *Bovine Practitioner* 36(2), 117-125.
- Campbell I., Tzipori S., Hutchinson G., Angus K.W., 1982. Effect of disinfectants on survival of *Cryptosporidium* oocysts. *Vet. Rec.* 111, 414-415.
- Caquet T., 2020. *Agroécologie Des recherches pour la transition.* Eds. Quae. pp. 107.
- Cardona G.A., de Lucio A., Bailo B., Cano L., de Fuentes I., Carmena D., 2015. Unexpected finding of feline-specific *Giardia duodenalis* assemblage F and *Cryptosporidium felis* in asymptomatic adult cattle in Northern Spain. *Vet. Parasitol.* 209, 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.02.028>.

- Carias L., Vaccaro R., 1984. Rearing Holstein Friesian and Brown Swiss calves on nurse cows. *Trop. Anim. Prod.* 9, 257–263.
- Castro-Hermida J.A., González-Losada Y.A., Ares-Mazás E., 2002. Prevalence of and risk factors involved in the spread of neonatal bovine cryptosporidiosis in Galicia (NW Spain). *Vet. Parasitol.* 106, 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00036-5)
- Castro-Hermida J.A., Pors I., Poupin B., Ares-Mazás E., Chartier C., 2005. Prevalence of *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium parvum* infections in goat kids in western France. *Small. Rumin. Res.* 56, 259-264.
- Castro-Hermida J.A., Almeida A., González-Warleta M., Correia Da Costa J.M., Rumbo-Lorenzo, C., Mezo, M., 2007. Occurrence of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia duodenalis* in healthy adult domestic ruminants. *Parasitol. Res.* 101, 1443–1448. <https://doi.org/10.1007/s00436-007-0624-6>
- Causapé A.C., Quílez J., Sanchez-Acedo C., del Cacho E., Lopez-Bernard F., 2002. Prevalence and analysis of potential risk factors for *Cryptosporidium parvum* infection in lambs in Zaragoza (Northeastern Spain). *Vet. Parasitol.* 104, 287-298.
- Chalmers R.M., Ferguson C., Cacciò S., Gasser R.B., Abs El-Osta Y.G., Heijnen L., Xiao L., Elwin K., Hadfield S., Sinclair M., Stevens M., 2005. Direct comparison of selected methods for genetic categorisation of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* species. *Int. J. Parasitol.* 35, 397-410.
- Chalmers R.M., Giles M., 2010. Zoonotic cryptosporidiosis in the UK-challenge for control. *J. Appl. Microbiol.* 109, 1487-1497.
- Chalmers R.M., Katzer F., 2013. Looking for *Cryptosporidium*: the application of advances in detection and diagnosis. *Trends. Parasitol.* 29, 237-251.
- Chandrawathani P., Jamnah O., Adnan M., Waller P. J., Larsen M., Gillespie A. T. 2004. Field studies on the biological control of nematode parasites of sheep in the tropics, using the microfungus *Duddingtonia flagrans*. *Veterinary Parasitology*, 120 (3), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.12.014>
- Charlier J., Claerebout E., De Mûelenaere E., Vercruyse J., 2005. Associations between dairy herd management factors and bulk tank milk antibody levels against *Ostertagia ostertagi*. *Vet. Parasitol.* 133, 91-100.
- Charlier J., Höglund J., von Samson-Himmelstjerna G., Dorny P., Vercruyse J., 2009. Gastrointestinal nematode infections in adult dairy cattle: Impact on production, diagnosis and control. *Vet. Parasitol.* 164, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.04.012>
- Charlier J., Vercruyse J., Smith J., Vanderstichel R., Stryhn H., Claerebout E., Dohoo I., 2010. Evaluation of anti-*Ostertagia ostertagi* antibodies in individual milk samples as decision parameter for selective anthelmintic treatment in dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 93, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.10.002>
- Charlier J., Dorny P., Levecke B., 2011. Serum pepsinogen levels to monitor gastrointestinal nematode infections in cattle revisited. *Research in Veterinary Science* 90, 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.06.029>
- Charlier J., Morgan E.R., Rinaldi L., van Dijk J., Demeler J., Höglund J., Hertzberg H., Van Ranst B., Hendrickx G., Vercruyse J., Kenyon F., 2014. Practices to optimise gastrointestinal nematode control on sheep, goat and cattle farms in Europe using targeted (selective) treatments. *Vet. Rec.* 175, 250-255.

- Charlier J., Velde F., van der Voort M., Van Meensel J., Lauwers L., Cauberghe V., Vercruyse J., Claerebout E., 2015. ECONOHEALTH: Placing helminth infections of livestock in an economic and social context. *Vet. Parasitol.* 212, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.018>
- Charlier J., Thamsborg S.M., Bartley D.J., Skuce P.J., Kenyon F., Geurden T., Hoste H., Williams A.R., Sotiraki S., Höglund J., Chartier C., Geldhof P., van Dijk J., Rinaldi L., Morgan E.R., von Samson-Himmelstjerna G., Vercruyse J., Claerebout E., 2018. Mind the gaps in research on the control of gastrointestinal nematodes of farmed ruminants and pigs. *Transbound. Emerg. Dis.* 65, 217–234. <https://doi.org/10.1111/tbed.12707>
- Charlier J., Höglund J., Morgan E.R., Geldhof P., Vercruyse J., Claerebout E., 2020. Biology and Epidemiology of Gastrointestinal Nematodes in Cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 36, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.001>
- Charmaz K., 2014. *Constructing Grounded Theory*, second ed. SAGE Publications Ltd., London, 676 p.
- Chartier C., Mallereau M.P., Naciri M., 1996. Prophylaxis using paromomycin of natural cryptosporidial infection in neonatal kids. *Prev. Vet. Med.* 25, 357-361.
- Chartier C., 2000. Alternatives aux traitements antiparasitaires, *Société Française de Buiatrie*, Paris, 15-17 Novembre 2000, 265-278.
- Chartier C., 2002. La cryptosporidiose des petits ruminants. *Le point vétérinaire*, n° spécial, Pathologie ovine et caprine, 118-122.
- Chartier C., Paraud C., 2010. La cryptosporidiose des ruminants. *Bulletin des GTV*, n° 52 Février 2010.
- Chartier C., Camuset P., 2012. La gestion du pâturage chez les bovins. *Point Vét.* 43, 22-28
- Chartier C., Rieux A., Delafosse A., Lehebel A., Paraud C., 2013. Detection of *Cryptosporidium* oocysts in fresh calf faeces: Characteristics of two simple tests and evaluation of a semi-quantitative approach. *Vet. J.* 198, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.06.011>
- Chartier C., Murigneux G., Pellerin M., Camuset P., 2013. L’infestation par *Dictycaulus viviparus* chez les bovins laitiers adultes : étude en abattoir et suivi longitudinal de l’excrétion sur la période fin d’hiver-début d’été dans un troupeau à risque. *Journées Nationales GTV*, 505-514.
- Chauvin A., Vermesse R., Lardoux S., Masson M., Ravinet N., 2009. Parasit’Info : un système expert d’aide à la gestion du risque des strongyloses digestives et de la fasciolose en élevage bovin. *Le Point Vétérinaire*, 40, 29–30.
- Claerebout E., Dorny P., Vercruyse J., Agneessens J., Demeulenaere D., 1998. Effects of preventive anthelmintic treatment on acquired resistance to gastrointestinal nematodes in naturally infected cattle. *Vet. Parasitol.* 76, 287–303. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00101-0)
- Claerebout E., Dorny P., Agneessens J., Demeulenaere D., Vercruyse J., 1999. The effect of first season chemoprophylaxis in calves on second season pasture contamination and acquired resistance and resilience to gastrointestinal nematodes. *Vet. Parasitol.* 80, 289-301.
- Claerebout E., Vercruyse J., 2000. The immune response and the evaluation of acquired immunity against gastrointestinal nematodes in cattle: a review. *Parasitology* 120 Suppl, S25–S42. [doi:10.1017/S0031182099005776](https://doi.org/10.1017/S0031182099005776)
- Coklin T., Farber J.M., Parrington L.J., Bin Kingombe C.I., Ross W.H., Dixon B.R., 2011. Immunomagnetic separation significantly improves the sensitivity of polymerase chain reaction in detecting *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium* spp. in dairy cattle. *J. Vet. Diagn. Invest.* 23, 260-267.
- Constant F., 2001. Etiologie des diarrhées néonatales des veaux. Les cryptosporidies confirmées. *E. coli*

- toujours plus résistant. Le point Vétérinaire 219, 16–17.
- Coop R.L., Smith W.D., Angus K.W., Graham R.B., Wright S.E., Jackson F., 1985. Effet of *Ostertagia ostertagi* on lamb performance and cross resistance to *O. circumcincta*. Res. Vet. Sci. 1985, 39, 200-206.
- Coop R.L., Holmes P.H., 1996. Nutrition and parasite interactions. International Journal for parasitology, 26, 951-962.
- Coop R.L., Kyriazakis I., 1999. Nutrition–parasite interaction. Vet. Parasitol. 84, 187–204.
- Coquil, X., Brunet, L., Hellec, F., Pailler, I., 2017. Conception d’une conduite de génisses laitières sous vaches nourrices : pour une intensification écologique des systèmes d’élevage herbager ? Fourrages. 231, 213–222.
- Couvillion C.E., 1993. Estimation of the number of trichostrongylid larvae on pastures. Vet. Parasitol. 46, 197-203.
- COWS 2010. Integrated parasite control on cattle farms. COWS technical guide. [http:// www .cattleparasites .org .uk/ guidance/ manual/ COWS %20Integrated %20parasite %20control %20on %20cattle %20farms .pdf](http://www.cattleparasites.org.uk/guidance/manual/COWS%20Integrated%20parasite%20control%20on%20cattle%20farms.pdf).
- Craig T.M., Wikse S.E., 1995. Control programs for the internal parasites of beef cattle. Comp. Cont. Edu. Pract. Vet. 17, 579-587.
- Craig T.M., 2018. Gastrointestinal Nematodes, Diagnosis and Control. Vet. Clin. NA Food Anim. Pract. 34, 185–199. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.10.008>
- Cringoli G., Maurelli M.P., Levecke B., Bosco A., Vercruyse J., Utzinger J., Rinaldi L., 2017. The Mini-FLOTAC technique for the diagnosis of helminth and protozoan infections in humans and animals. Nat. Protoc. 12, 1723–1732. <https://doi.org/10.1038/nprot.2017.067>
- da Cruz D. G., Araujo F. B., Molento M. B., Damatta R. A., de Paula Santos C., 2011. Kinetics of capture and infection of infective larvae of trichostrongylides and free-living nematodes *Panagrellus* sp. by *Duddingtonia flagrans*. Parasitology Research, 109 (4), 1085–1091. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2350-3>
- David G.P., 1997. An epidemiological study of husk in adult cows in 32 UK herds (Preliminary findings). Cattle Pract. 5, 295–297.
- De Graaf D.C., Vanopdenbosch E., Ortega-Mora L.M., Abbassi H., Peeters J.E., 1999. A review of the importance of cryptosporidiosis in farm animals. Int. J. Parasitol. 29, 1269–1287. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(99\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(99)00076-4)
- De La Fuente R., Luzón M., Ruiz-Santa-Quiteria J.A., García A., Cid D., Orden J.A., García S., Sanz R., Gómez-Bautista M., 1999. Cryptosporidium and concurrent infections with other major enteropathogens in 1 to 30-day-old diarrheic dairy calves in central Spain. Vet. Parasitol. 80, 179–185. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00218-0)
- Delafosse A., Castro-Hermida J.A., Baudry C., Ares-Mazás E., Chartier C., 2006. Herd-level risk factors for Cryptosporidium infection in dairy-goat kids in western France. Prev. Vet. Med. 77, 109-121.
- Delafosse A., Chartier C., Dupuy M.C., Dumoulin M., Pors I., Paraud C., 2015. Cryptosporidium parvum infection and associated risk factors in dairy calves in western France. Prev. Vet. Med. 118, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.01.005>
- de Lattre-Gasquet M., Loyat J., 2009. L’agriculture entre science, société, politique et industrie. Revue Projet 313 (6), 48 - 54.

- de Passillé A.M., 2001. Sucking motivation and related problems in calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 175–187.
- de Passillé A.M., Marnet, P.G., Lapierre H., Rushen J., 2008. Effects of twice-daily 690 nursing on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91, 1416–1422.
- Demeter, 2012. *Élevage des veaux sous la mère en production laitière*. pp. 11.
- Desrues O., Peña-Espinoza M., Hansen T.V., Mueller-Harvey I., Enemark H.L., Thamsborg S.M., 2015. Anthelmintic effects of sainfoin against different cattle nematodes may be linked to concentration of condensed tannins in different gut compartments. In: *Proceedings of the 25th WAAVP Workshop, 16th-20th August, Liverpool, UK*
- Dimander S.O., Höglund J., Spörndly E., Waller P.J., 2000. The impact of internal parasites on the productivity of young cattle organically reared on semi-natural pastures in Sweden. *Vet. Parasitol.* 90, 271-284.
- Dimander S. O., Höglund J., Ugglå A., Spörndly, E., Waller, P. J. 2003. Evaluation of gastro-intestinal nematode parasite control strategies for first season grazing cattle in Sweden. *Vet. Parasitol.* 114, 1–17.
- Disenhaus C., Grimard B., Trou G., Delaby L., 2005. De la vache au système : s'adapter aux différents objectifs de reproduction en élevage laitier ? *Renc. Rech. Ruminants*, 125, 136.
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*. 7, 1028–1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>
- Duncan J.L., Armour J., Bairden K., Urquhart G.M., Jorgensen R.J., 1979. Studies on the epidemiology of bovine parasitic bronchitis. *Vet. Rec.* 104, 274-278.
- Duranti A., Cacciò S.M., Pozio E., Di Egidio A., De Curtis M., Battisti A., Scaramozzino, P., 2008. Risk factors associated with cryptosporidium parvum infection in cattle. *Zoonoses Public Health*. 56, 176–182. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2008.01173.x>
- Duranti A., Cacciò S.M., Pozio E., Di Egidio A., De Curtis M., Battisti A., Scaramozzino P., 2009. Risk factors associated with cryptosporidium parvum infection in cattle. *Zoonoses Public Health*. 56, 176–182. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2008.01173.x>
- Duru M., Fares M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cah. Agric.* 23, 84–95. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0691>
- Esteban E., Anderson B.C., 1995. Cryptosporidium muris: prevalence, persistency, and detrimental effect on milk production in a drylot dairy. *J. Dairy. Sci.* 78, 1068-1072.
- Everitt G.C., 1968. Suckling : effects on the calf and the cow . *Anim. Prod.* 31, 158-175.
- Eysker M., Boersema J.H., Cornelissen J.B., Kooyman F.N., de Leeuw W.A., Saatkamp H.W., 1994. An experimental field study on the build up of lungworm infections in cattle. *Vet. Q.* 16, 144–147. <https://doi.org/10.1080/01652176.1994.9694437>
- Eysker M., 1997. The sensitivity of the Bearmann method for the diagnosis of primary Dictyocaulus viviparus infections in calves. *Vet. Parasitol.* 69, 89–93.
- Eysker M., Boersema J.H., Kooyman F.N.J., Ploeger H.W., 2000. Resilience of second year grazing cattle to parasitic gastroenteritis following negligible to moderate exposure to gastrointestinal nematode infections in their first year. *Vet. Parasitol.* 89, 37–50.

- Eysker M., Ploeger H.W., 2000. Value of present diagnostic methods for gastrointestinal nematode infections in ruminants. *Parasitology* 120, 109–119. <https://doi.org/10.1017/S0031182099005752>
- Eysker M., Kooyman F.N.J., Ploeger H.W., 2001. Immunity in calves against *Dictyocaulus viviparus* following a low primary infection. *Parasitology*. 123, 591–597.
- Eysker M., van Aarle D., Kooyman F.N., Nijzink A.M., Orsel K., Ploeger H.W., 2002. Exposure of dairy cows to nematode infections at the end of the grazing season in The Netherlands. *Vet. Parasitol.* 110, 93–100.
- Fanke J., Charlier J., Steppin T., von Samson-Himmelstjerna G., Vercruysse J., Demeler J., 2017. Economic assessment of *Ostertagia ostertagi* and *Fasciola hepatica* infections in dairy cattle herds in Germany using Paracalc®. *Vet. Parasitol.* 240, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.03.018>
- Favennec L., Kapel N., 2017. Rapport annuel d'activité du réseau « CRYPTO-ANOFEL » Année 2016. <https://cnrcryptosporidioses.chu-rouen.fr/rapports-annuels/>.
- Fayer R., Ellis W., 1993. Paromomycin is effective as prophylaxis for cryptosporidiosis in dairy calves. *J. Parasitol.* 79, 771–774.
- Fayer R., Gasbarre L., Pasquali P., Canals A., Almeria S., Zarlenga D., 1998. *Cryptosporidium parvum* infection in bovine neonates: Dynamic clinical, parasitic and immunologic patterns. *Int. J. Parasitol.* 28, 49–56. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(97\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(97)00170-7)
- Fayer R., Morgan U., Upton S.J., 2000. Epidemiology of *Cryptosporidium*: Transmission, detection and identification. *Int. J. Parasitol.* 30, 1305–1322. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00135-1](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00135-1)
- Fayer R., 2004. *Cryptosporidium*: A water-borne zoonotic parasite. *Vet. Parasitol.* 126, 37–56. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.09.004>
- Fayer R., Santín M., Xiao L., 2005. *Cryptosporidium Bovis* N. Sp. (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) in Cattle (*Bos Taurus*). *J. Parasitol.* 91, 624–629. <https://doi.org/10.1645/ge-3435>
- Fayer R., Santín M., Trout J.M., Greiner E., 2006. Prevalence of species and genotypes of *Cryptosporidium* found in 1-2-year-old dairy cattle in the eastern United States. *Vet. Parasitol.* 135, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.08.003>
- Fayer R., Xiao L., 2007. *Cryptosporidium* and cryptosporidiosis. second ed. CRC Press, Boca Raton.
- Fayer R., Santín M., Trout J.M., 2008. *Cryptosporidium ryanae* n. sp. (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) in cattle (*Bos taurus*). *Vet. Parasitol.* 156, 191-198.
- Fayer, R., Santin, M., 2009. *Cryptosporidium xiao* n. sp. (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) in sheep (*Ovis aries*) *Vet. Parasitol.* 164, 192-200.
- Fayer R., Santín M., Macarisin D., 2010. *Cryptosporidium ubiquitum* n. sp. in animals and humans. *Vet. Parasitol.* 172, 23-32.
- Feng Y., Ryan U.M., Xiao L., 2018. Genetic Diversity and Population Structure of *Cryptosporidium*. *Trends Parasitol.* 34, 997–1011. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2018.07.009>
- Fernández A.S., Fiel C.A., Steffan P.E., 1999. Study on the infective factors of hypobiosis of *Ostertagia ostertagi* in cattle. *Vet. Parasitol.* 81, 295-307.
- Fernández A.S., Sarkunas M., Roepstorff A., 2001. Survival of infective *Ostertagia ostertagi* larvae on pasture plots under different simulated grazing conditions. *Vet Parasitol.* 96, 291-299.

- Ferran A., Bouquet B., 2013. How can the closure of the esophageal groove? *Point Vet.* 339, 46–47.
- FiBL, 2014. Contrôler efficacement les parasites internes des bovins par la gestion de pâturage, Available online: <https://shop.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1631-parasites-des-paturages.pdf>.
- Fiel C.A., Fernández A.S., Rodríguez E.M., Fusé L.A., Steffan P.E., 2012. Observations on the free-living stages of cattle gastrointestinal nematodes. *Vet. Parasitol.* 187, 217–226.
- Fitzpatrick J., 2013. ‘Barbervax’, a potential commercial vaccine for *Haemonchus contortus*: background, mechanism of action and efficacy studies with housed lambs. In: *Proceeding WAAVP, Perth, Australia, 25–29 August 2013*, pp. 312.
- Flower F. C., Weary D. M., 2003. The effects of early separation on the dairy cow and calf. *Anim. Welf.* 12, 339–348.
- Follet J., Guyot K., Leruste H., Follet-Dumoulin A., Hammouma-Ghelboun O., Certad G., Dei-Cas E., Halama P., 2011. *Cryptosporidium* infection in a veal calf cohort in France: Molecular characterization of species in a longitudinal study. *Vet. Res.* 42, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-116>
- Fontenot M. E., Miller J. E., Pena M. T., Larsen M., Gillespie, A. 2003. Efficiency of feeding *Duddingtonia flagrans* chlamydospores to grazing ewes on reducing availability of parasitic nematode larvae on pasture. *Vet. Parasitol.* 118 (3–4), 203–213.
- Forbes A.B., Huckle C.A., Gibb M.J., Rook A.J., Nuthall R., 2000. Evaluation of the effects of nematode parasitism on grazing behaviour, herbage intake and growth in young grazing cattle. *Vet. Parasitol.* 90, 111–118. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(00\)00218-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(00)00218-1)
- Forbes A.B., Huckle C.A., Gibb M.J., 2007. Evaluation of the effect of eprinomectin in young dairy heifers sub-clinically infected with gastrointestinal nematodes on grazing behaviour and diet selection. *Vet. Parasitol.* 150, 321–332.
- Forbes A.B., J.Vercruyse Charlier J., 2008. A survey of the exposure to *Ostertagia ostertagi* in dairy cow herds in Europe through the measurement of antibodies in milk samples from the bulk tank. *Vet. Parasitol.* 157, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.06.023>
- Forbes A. B., Warren M., Upjohn M., Jackson B., Jones J., Charlier J., Fox, M. T. 2009. Associations between blood gastrin, ghrelin, leptin, pepsinogen and *Ostertagia ostertagi* antibody concentrations and voluntary feed intake in calves exposed to a trickle infection with *O. ostertagi*. *Vet. Parasitol.* 162(3–4), 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.03.010>
- Forbes A., 2018. Lungworm in cattle: epidemiology, pathology and immunobiology. *Livestock* 23, 59–66.
- Fournier R., Naciri M., 2007. Epidémiologie des diarrhées néonatales bovines. Prévalence chez le jeune veau. *Le point Vétérinaire* 273, 58–63.
- Fox M.T., 1997. Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants: recent developments. *Vet. Parasitol.* 72, 285–308.
- Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T. A., Creamer N., Harwood R., Wiedenhoeft M. 2003. Agroecology: the ecology of food systems, *J. sustain. Agric.* 22(3), 99–118.
- Franklin S. T., Amaral-Phillips D. M., Jackson J. A., Campbell. A. A. 2003. Health and performance of Holstein calves that suckled or were hand-fed colostrum and were fed one of three physical forms of starter. *J. Dairy Sci.* 86, 2145–2153.

- Friggens N.C., Newbold J.R., 2007. Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning: The dairy cow as an example. *Animal*. 1, 87-97.
- Fröberg S., Gratte E., Svennersten-Sjaunja K., Olsson I., Berg C., Orihuela A., Galina C.S., García B., Lidfors L., 2008. Effect of suckling (restricted suckling) on dairy cows udder health and milk let-down and their calves weight gain, feed intake and behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 113, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.12.001>.
- Fröberg S., Lidfors L., 2009. Behaviour of dairy calves suckling the dam in a barn with automatic milking or being fed milk substitute from an automatic feeder in a group pen. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 117 (3), 150–158, doi:10.1016/j.applanim.2008.12.015.
- Garber L.P., Salman M.D., Hurd H.S., Keefe T., Schlater J.L., 1994. Potential risk factors for *Cryptosporidium* infection in dairy calves. *J. Am. Vet. Medical Assoc.* 205, 86–91.
- Garro C.J., Morici G.E., Utgés M.E., Tomazic M.L., Schnittger L., 2016. Prevalence and risk factors for shedding of *Cryptosporidium* spp. oocysts in dairy calves of Buenos Aires Province, Argentina. *Parasite Epidemiol. Control* 1, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2016.03.008>
- Gasbarre L.C., Leighton E.A., Sonstegard T., 2001. Role of bovine immune system and genome in resistance to gastrointestinal nematodes. *Vet. Parasitol.* 98, 51-64.
- GDS 64, 2021. Parasitisme <https://www.gds64.fr/prevention-services/prevention/parasitisme/> Consulté le 26/07/2021.
- Gatei W., Das P., Dutta P., Sen A., Cama V., Lal A.A., Xiao L., 2007. Multilocus sequence typing and genetic structure of *Cryptosporidium hominis* from children in Kolkata, India. *Infect. Genet. Evol.* 7, 197-205.
- Geldhof P., Vercauteren I., Gevaert K., Staes A., Knox D. P., Vandekerckhove, J., Claerebout E. 2003. Activation-associated secreted proteins are the most abundant antigens in a host protective fraction from *Ostertagia ostertagi*. *Mol. Bioch. Parasit.* 128 (1), 111–114.
- Geurden T., Berkvens D., Martens C., Casaert S., Vercruyse J., Claerebout E., 2007. Molecular epidemiology with subtype analysis of *Cryptosporidium* in calves in Belgium. *Parasitology*. 134, 1981–1987. <https://doi.org/10.1017/S0031182007003460>
- Geurden T., Claerebout E., Vercruyse J., Berkvens D., 2008. A Bayesian evaluation of four immunological assays for the diagnosis of clinical cryptosporidiosis in calves. *Vet. J.* 176, 400–402. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.03.010>
- Godden S., 2008. Colostrum Management for Dairy Calves. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 24, 19–39. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005>.
- Gomez D.E., Chamorro M.F., 2017. The importance of colostrum for dairy calves. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* 30, 241–244.
- Gouérec N., 2014. Elever les génisses avec des vaches nourrices. *L'écho du Cedapa*. 112, 4–5.
- Grandin G., 2015. Nourrir des veaux laitiers par des vaches nourrices : ça fonctionne !. <https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/gerer-son-exploitation/management-organisation-rh/fiches-solutions/nourrir-les-veaux-laitiers-par-des-vaches-nourrices-ca-fonctionne/>.
- Grenfell B.T., Smith G., Anderson R.M., 1987. A mathematical model of the population biology of *Ostertagia ostertagi* in calves and yearlings. *Parasitology*. 95, 389–406. <https://doi.org/10.1017/S0031182000057826>

- Grøndahl A.M., Skancke E.M., Mejdell C.M., Jansen J.H., 2007. Growth rate, health and welfare in a dairy herd with natural suckling until 6-8 weeks of age: A case report. *Acta Vet. Scand.* 49, 1–5. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-16>.
- Grüner L., Raynaud J.P., 1980. Technique allégée de prélèvement d’herbe et de numération, pour juger de l’infestation des pâturages de bovins par les larves de nématodes parasites. *Rev. Med. Vet.* 131, 521-529.
- Guillou M., Riba G., Houllier F., Eddi M., Leverve X., Guyomard H., Soussana J.F., Chemineau P., 2010. Document d’orientation Inra 2010-2020 : une science pour l’impact. In INRA, Paris. pp. 60. hal-02823708.
- Gulliksen S. M., Lie K. I., Loken T., Osteras O., 2009. Calf mortality in Norwegian dairy herds. *J. Dairy Sci.* 92, 2782–2795.
- Hammerberg B, Lamm WD. 1980. Changes in periparturient fecal egg counts in beef cows calving in the spring. *Am. J. Vet. Res.* 41, 10, 1686-1689.
- Hamnes I.S., Gjerde B., Robertson L., 2006. Prevalence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in dairy calves in three areas of Norway. *Vet. Parasitol.* 204–216.
- Hansen T. V., Fryganas C., Acevedo N., Caraballo L., Thamsborg S. M., Mueller-Harvey I., Williams A. R. 2016. Proanthocyanidins inhibit *Ascaris suum* glutathione-S-transferase activity and increase susceptibility of larvae to levamisole in vitro. *Parasitol. Int.* 65(4), 336–339. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2016.04.001>
- Harp J.A., Woodmansee D.B., Moon H.W., 1990. Resistance of calves to *Cryptosporidium parvum*: Effects of age and previous exposure. *Infect. Immun.* 58, 2237–2240.
- Heine J., 1982. Eine einfache Nachweismethode für *Cryptosporidien* im Kot. 327, 324–327.
- Hénot A. Y., 2006. Cheptel laitier : renouvellement du troupeau, des éléments pour réduire le coût. Paysan Breton, Semaine du 3–10 Février, Article N°5840.
- Herd RP. 1991. Cattle Practitioner: Vital Role in Worm Control. *Compendium on Continuing Education for Veterinarians.* 13, 879-885.
- Herskin M.S., Skjoth F., Jensen M.B., 2010. Effects of hunger level and tube diameter on the feeding behavior of teat-fed dairy calves. *J. Dairy Sci.* 93, 2053–2059.
- Hessle A. K., 2009. Effects of social learning on foraging behaviour and live weight gain in first-season grazing calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116 (2–4), 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.004>.
- Hijjawi N., 2010. *Cryptosporidium*: New developments in cell culture. *Exp. Parasitol.* 124, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2009.05.015>
- Hildreth M.B., McKenzie J.B. 2020. Epidemiology and Control of Gastrointestinal Nematodes of Cattle in Northern Climates, *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36, 59-71.
- Hilmann E., Roth A., Johns J., Waiblinger S., Barth K., 2012. Dam-associated rearing as animal friendly alternative to artificial rearing in dairy cattle. *Agric. Forest. Res.* 362, 180-182.
- Högberg N., Lidfors L., Hessle A., Arvidsson Segerkvist K., Herlin A., Höglund J., 2019. Effects of nematode parasitism on activity patterns in first-season grazing cattle. *Vet. Parasitol. X.* <https://doi.org/10.1016/j.vpoa.2019.100011>
- Hoglund J., Viring S., Tornqvist M., 2004. Seroprevalence of *Dictyocaulus viviparus* in first grazing season calves in Sweden. *Vet. Parasitol.* 125, 343–352.

- Höglund J., Morrison D.A., Charlier J., Dimander S.-O., Larsson A., 2009. Assessing the feasibility of targeted selective treatments for gastrointestinal nematodes in first-season grazing cattle based on mid-season daily weight gains. *Vet. Parasitol.* 164, 80-88.
- Höglund J., Dahlström F., Engström A., Hessle A., Jakubek E.B., Schnieder T., Strube C., Sollenberg S. 2010. Antibodies to major pasture borne helminth infections in bulk tank milk samples from organic and nearby conventional dairy herds in south-central Sweden. *Vet. Parasitol.* 171,293-299.
- Höglund J., Hessle A., Dahlström F., 2013. Calving season is a stronger determinant of worm burdens in pasture-based beef production than the level of residual larval contamination at turnout. *Vet. Rec.* 172(18), 472. <https://doi.org/10.1136/vr.101077>
- Hoste H., Cabaret J., Grosmond G., Guitard J.P., 2009. Alternatives aux traitements anthelminthiques en élevage biologique de ruminants. *Inra Prod. Anim.* 22, 245-254.
- Hoste H., Torres-Acosta J.F.J., 2011. Non chemical control of helminths in ruminants: Adapting solutions for changing worms in a changing world. *Vet. Parasitol.* 180, 144-154.
- Hoste H., Torres-Acosta J.F.J., Sandoval-Castro C.A., Mueller-Harvey I., Sotiraki S., Louvandini H., Thamsborg S.M., Terrill T.H., 2015. Tanin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Vet. Parasitol.* 212, 5-17.
- Hötzel, M.J., Cardoso, C.S., Roslindo, A., von Keyserlingk, M.A.G., 2017. Citizens' views on the practices of zero-grazing and cow-calf separation in the dairy industry: Does providing information increase acceptability? *J. Dairy Sci.* 100, 4150–4160. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11933>.
- Huetink R.E.C., Van der Giessen J.W.B., Noordhuizen J.P.T.M., Ploeger H.W., 2001. Epidemiology of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* on a dairy farm. *Vet. Parasitol.* 102, 53–67. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00514-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00514-3)
- IFOAM 2005. The four principles of organic agriculture [online]. Retrieved from <<https://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/principles-organic-agriculture>> [at 13 Apr 2021].
- Jacquet P., Grisez C., Chauvin A., Prévot F., Liénard E., Bergeaud J.P., Dorchie P., Alzieu J.P., 2010. Absence d'hypobiose hivernale chez les nématodes parasites de la caillette des bovins dans le sud-ouest de la France. In: Proceedings of the JNGTV, 26-28 May, Lille, France, pp. 927-936.
- Jasper J., Weary D.M., 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *J Dairy Sci*, 85, 3054-3058.
- Jasper J., Budzynska M., Weary D.M., 2008. Weaning distress in dairy calves: acute behavioural responses by limit-fed calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 110, 136–143.
- Jensen M.B., 2011. The early behaviour of cow and calf in an individual calving pen. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 134, 92–99.
- Joachim A., Krull T., Schwarzkopf J., Dauschies A., 2003. Prevalence and control of bovine cryptosporidiosis in German dairy herds. *Vet. Parasitol.* 112, 277–288. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(03\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00006-2)
- Johnsen J.F., de Passillé A.M., Mejdell C.M., Bøe K.E., Grøndahl A.M., Beaver A., Rushen J., Weary D.M., 2015. The effect of nursing on the cow–calf bond. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 163, 50–57.
- Johnsen J.F., Zipp K.A., Kälber T., de Passillé A.M., Knierim U., Barth K., Mejdell C.M., 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms? Current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>
- Jørgensen R.J., 1981. Studies on the lungworm *Dictyocaulus viviparus* and its epidemiology in young

- cattle with a description of an attempt to prevent parasitic bronchitis. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 76, 1-77.
- Jorgensen R.J., Ronne H., Helsted C., Iskander A.R., 1982. Spread of infective *Dictyocaulus viviparus* larvae in pasture and to grazing cattle: experimental evidence of the role of *Pilobolus* fungi. *Vet Parasitol* 10, 331-339.
- Juranek D.D. 2000. Cryptosporidiosis. In: Strickland GT, editor. *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases*, 8th ed. Philadelphia: WB Saunders.
- Kälber T., Barth K., 2014. Practical implications of suckling systems for dairy calves in organic production systems - A review. *Landbauforsch. Volkenrode* 64, 45-58. <https://doi.org/10.3220/LBF-2014-45-58>
- Karanis P., Plutzer J., Abdul Halim N., Igori K., Nagasawa H., Ongerth J., Liqing M., 2007. Molecular characterization of *Cryptosporidium* from animal sources in Qinghai province of China. *Parasitol. Res.* 101, 1575-1580.
- Keeley, A., Faulkner, B.R., 2008. Influence of land use and watershed characteristics on protozoa contamination in a potential drinking water resources reservoir. *Water. Res.* 42, 2803-2813.
- Kent J.P., 2020. The cow-calf relationship: From maternal responsiveness to the maternal bond and the possibilities for fostering. *J. Dairy Res.* 87, 101-107. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000436>
- Kerboeuf D., 1979. Données récentes sur les strongyloses des ruminants. *Rec. Med. Vet.* 155, 923- 934.
- Kerboeuf D., Le Garff G., Mage C., 1981. Forecasting of bovine abomasal worm burden by means of serum pepsinogen measurement. Study on suckling calves and heifers in first and second grazing season. *Ann. Rech. Vet.* 12, 201-213.
- Kerboeuf D., Koch C., Le Dréan E., Lacourt A., 2002. Méthode simplifiée de mesure de la concentration en pepsinogène dans le sérum. *Rev. Med. Vet. (Toulouse)*. 153, 707-712.
- Khan M. A., Weary D. M., von Keyserlingk M. A. G., 2011. Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 94, 1071-1081.
- Kilani M., Guillot J., Polack B., Chermette R., 2003. Helminthoses digestives. In : Lefèvre P.C., Blancou J., Chermette R. (Eds.), *Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail – Europe et régions chaudes*, Tome 2, Partie 5, section 2. Editions Médicales internationales, Lavoisier, Cachan, pp. 1310-1312.
- Kilgour R., Dalton C., 1984. *Livestock Behaviour: A Practical Guide*. Granada, London. pp. 320.
- Klongsiriwet C., Quijada J., Williams A. R., Mueller-Harvey I., Williamson E. M., Hoste H. 2015. Synergistic inhibition of *Haemonchus contortus* exsheathment by flavonoid monomers and condensed tannins. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 5(3), 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2015.06.001>
- Knierim U., Wicklow D., Ivemeyer S., Möller D., 2020. A framework for the socio-economic evaluation of rearing systems of dairy calves with or without cow contact. *J. Dairy Res.* 87, 128-132. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000473>.
- Knox M., Healey K., Lawlor C., Lamb J., Chambers M., Groves P., 2013. BioWorma® for control of nematode parasites of livestock. In: *Proceeding WAAVP, Perth, Australia, 25-29 August 2013*, p. 223.
- Koczura M., Nicolao A., Bouchon M., Sturaro E., Pomiès D., Martin B., Coppa M. 2020. Is dairy calves

- grazing behaviour influenced by cow-calf contact experience? IAHA Video-Conference on Organic Animal Husbandry. 23–26.
- Krohn C. C., Jonassen B., Munksgaard L., 1990. Cow–calf relations. The effect of 0 vs. 5 days suckling on behaviour, milk production and udder health of cows in different stabling. Report No. 678. National Institute of Animal Science, Foulum, Denmark.
- Krohn C. C., Foldager J., Mogensen L., 1999. Long-term effect of colostrum feeding methods on behaviour in female dairy calves. *Acta Agric. Scand. A.* 49, 57–64.
- Krohn C. C., 2001. Effects of different suckling systems on milk production, udder health, reproduction, calf growth and some behavioural aspects in high producing dairy cows - A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 271–280. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00117-4).
- Kunz H., Malchau I., Wroblewski T., 2009. Two liters of colostrum are not enough. *Studies on colostrum management. Milchpraxis* 47 (2), 58-61.
- Kváč M., Kouba M., Vítovec J., 2006. Age-related and housing-dependence of *Cryptosporidium* infection of calves from dairy and beef herds in South Bohemia, Czech Republic. *Vet. Parasitol.* 137, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.01.027>
- Langbein J., Raasch M.L., 2000. Investigations on the hiding behaviour of calves at pasture. *Arch. Tierzucht* 43, 203–210.
- Langhout, J., 2003. Suckling as rearing method on dairy farms. (MSc thesis). pp. 59.
- Langhout, J., Wagenaar, J.P., 2004. Suckling as an alternative rearing system for replacement calves on dairy farms, in: 2nd SAFO Workshop. pp. 49–54.
- Langhout, J., Wagenaar, J.P., 2006. Suckling, a natural calf rearing system for organic dairy farms, in: Joint Organic Congress.
- Larsson A., Dimander S.O., Ugglå A., Waller P.J., Höglund J., 2006. Effects of single or concurrent infections with *Eimeria alabamensis* and gastrointestinal nematodes on the performance of calves on pasture. *Parasitol. Res.* 99, 84–89. <https://doi.org/10.1007/s00436-005-0109-4>
- Larsson A., Dimander S.O., Rydzik A., Ugglå A., Waller P.J., Höglund J., 2007. A 3- year field evaluation of pasture rotation and supplementary feeding to control parasite infection in first-season grazing cattle-dynamics of pasture infectivity. *Vet. Parasitol.* 145, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.12.005>.
- Lassen B., Viltrop A., Jarvis T., 2009. Herd factors influencing oocyst production of *Eimeria* and *Cryptosporidium* in Estonian dairy cattle. *Parasitol. Res.* 105, 1211–1222. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1540-8>
- Laukkanen H., Rushen J., de Passillé A.M., 2010. Which dairy calves are cross- sucked? *Appl Anim Behav Sci.* 125, 91-95.
- Le Cozler Y., Recoursé O., Ganche E., Giraud D., Danel J., Bertin M., Brunschwig P., 2012. A survey on dairy heifer farm management practices in a Western-European plainland, the French Pays de la Loire region. *J. Agric. Sci.* 150, 518–533. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000032>
- Lefay D., Naciri M., Poirier P., Chermette R., 2000. Prevalence of *Cryptosporidium* infection in calves in France. *Vet. Parasitol.* 89, 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00230-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00230-7)
- Lefay D., Naciri M., Poirier P., Chermette R., 2001. Efficacy of halofuginone lactate in the prevention of cryptosporidiosis in suckling calves. *Vet. Rec.* 148, 108-112.
- Le Neindre P., Petit M., Müller A., Pecatte G., Gallard Y., 1976. Quantités d’herbe et de lait consommées

- par des veaux au pis. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 1976, 25 (4), 521-531. hal-00887655
- Lemauviel-Lavenant S., Sabatier R., 2017. Quand l'élevage est garant de la conservation des milieux patrimoniaux. *INRA Productions Animales* 30, 351–362.
- Le Rohellec C., Falaise D., Mouchet C., Boutin M., Thiebot J., 2009. Analyse de l'efficacité environnementale et énergétique de la mesure agrienvironnementale "Système fourrager économe en intrants" (SFEI) à partir de l'analyse de pratiques de quarante-quatre signataires. *Campagne culturelle 2006/2007. Renc. Rech. Ruminants*. 16, 109–112.
- Li L., Yang M., Luo J., Qu Q., Chen Y., Liang L., Zhang K. 2016. Nematode-trapping fungi and fungus-associated bacteria interactions: The role of bacterial diketopiperazines and biofilms on *Arthrobotrys oligospora* surface in hyphal morphogenesis. *Environmental Microbiology*, 18 (11), 3827–3839. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13340>
- Lidfors L.M., 1996. Behavioural effects of separating the dairy calf immediately or 4 days post-partum. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 49, 269–283.
- Lindsay D.S., Upton S.J., Owens D.S., Morgan U.M., Mead J.R., Blagburn B.L., 2000. *Cryptosporidium andersoni* n. sp. (Apicomplexa: Cryptosporiidae) from cattle, *Bos taurus*. *J. Eukaryot. Microbiol.* 47, 91-95.
- Loberg J., Lidfors L., 2001. Effect of stage of lactation and breed on dairy cows' acceptance of foster calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 74, 97–108. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00157-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00157-5)
- Loberg J., 2007. Behaviour of Foster Cows and Calves in Dairy Production - Acceptance of calves, cow-calf interactions and weaning. Doctor's dissertation. pp. 50. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-85913-21-3
- Loberg J., Hernandez C.E., Thierfelder T., Jensen M.B., Berg C., Lidfors, L., 2008. Weaning and separation in two steps-A way to decrease stress in dairy calves suckled by foster cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.06.011>
- Lombard J. E., 2011. Epidemiology and economics of paratuberculosis. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 27, 525–535.
- Lumaret J.-P., Errouissi F., Floate K., Römbke J., Wardhaugh K., 2012. A review on the toxicity and non-target effects of macrocyclic lactones in terrestrial and aquatic environments. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 13, 1004-1060.
- Lundborg G. K., Svensson E. C., Oltenacu P. A., 2005. Herd-level risk factors for infectious diseases in Swedish dairy calves aged 0–90 days. *Prev. Vet. Med.* 68, 123–143.
- Lützelshwab C.M., Fiel C.A., Pedonessa S.I., Najle R., Rodríguez E., Steffan P.E., Saumell C., Fusé L., Iglesias L., 2005. Arrested development of *Ostertagia ostertagi*: effect of the exposure of infective larvae to natural spring conditions of the humid Pampa (Argentina). *Vet. Parasitol.* 127, 253-262.
- Maldonado-Camargo S., Atwill E.R., Saltijeral-Oaxaca J.A., Herrera-Alonso L.C., 1998. Prevalence of and risk factors for shedding of *Cryptosporidium parvum* in Holstein Freisian dairy calves in central México. *Prev. Vet. Med.* 36, 95–107. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(98\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(98)00084-1)
- Mandel R., Nicol C.J., 2017. Re-direction of maternal behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 195, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.06.001>
- Matthews K.K., O'Brien D.J., Whitley N.C., Burke J.M., Miller J.E., Barczewski R.A., 2016. Investigation of possible pumpkin seeds and ginger effects on gastrointestinal nematode infection indicators in meat goat kids and lambs. *Small Ruminant Res.* 136, 1-6.

- McAloon C. G., Whyte P., O’Grady L., Lorenz I., Green M. G., Hogan I., Johnson, and M. L. Doherty. 2016. Relationship between selected perinatal paratuberculosis management interventions and passive transfer of immunity in dairy calves. *Vet. Rec.* 179, 47.
- McArthur, M.J., Reinemeyer, C.R., 2014. Herding the U.S. cattle industry toward a paradigm shift in parasite control. *Vet. Parasitol*, 204, 34–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.12.021>
- Mccarthy B., Pierce K. M., Delaby L., Brennan A., Horan B., 2013. The effect of stocking rate and calving date on milk production of Holstei x Friesian dairy cows. *Livestock Science*, 153, 123–134.
- McGuirk S. M., Collins M., 2004. Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20, 593–603.
- McLeonard C., Van Dyk J., 2017. Controlling lungworm disease (husk) in dairy cattle. *In Practice*. 39, 408–419.
- Mdegela R., Kusiluka L., Kapaga A. M., Karimuribo E., Turuka F. M., Bundala A., Kivaria F., Kabula B., Manjurano A., Loken T., Kambarage D. M., 2004. Prevalence and determinants of mastitis and milk-borne zoonoses in smallholder dairy farming sector in Kibaha and Morogoro districts in Eastern Tanzania. *J. Vet. Med. B Infect. Dis. Vet. Public Health.* 51, 123–128.
- Meagher, R.K., Beaver, A., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2019. Invited review: A systematic review of the effects of prolonged cow–calf contact on behavior, welfare, and productivity. *J. Dairy Sci.* 102, 5765–5783. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16021>
- Mendras H., 1995. *Les Sociétés paysannes (nouvelle édition)*. Folio Histoire, Gallimard, pp. 368.
- Merlin A., Chauvin A., Madouasse A., Froger S., Bareille N., Chartier C., 2016. Explaining variability in first grazing season heifer growth combining individually measured parasitological and clinical indicators with exposure to gastrointestinal nematode infection based on grazing management practice. *Vet. Parasitol.* 225, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.05.006>
- Merlin A., Ravinet N., Madouasse A., Bareille N., Chauvin A., Chartier C., 2017a. Mid-season targeted selective anthelmintic treatment based on flexible weight gain threshold for nematode infection control in dairy calves. *Animal* 12, 1030–1040. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002312>
- Merlin A., Chauvin A., Lehebel A., Brisseau N., Froger S., Bareille N., Chartier C., 2017b. End-season daily weight gains as rationale for targeted selective treatment against gastrointestinal nematodes in highly exposed first-grazing season cattle. *Prev. Vet. Med.* 138, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.01.011>
- Michel J.F., Lancaster M.B., Hong C., 1979. The effect of age, acquired resistance, pregnancy and lactation on some reactions of cattle to infection with *Ostertagia ostertagi*. *Parasitology.* 79, 157–168.
- Mihi B., van Meulder F., Vancoppennolle S., Rinaldi M., Chiers K., van den Broeck W., Goddeeris B.M., Vercruyse J., Claerebout E., Geldhof P., 2014. Analysis of the mucosal immune responses induced by single and trickle infections with the bovine abomasal nematode *Ostertagia ostertagi*. *Parasite Immunol.* 36, 150–156.
- Michaud, A., Clazier, A., Bec, H., Chassaing, C., Disenhaus, C., Drulhe, T., Martin, B., Pomiès, D., Le Cozler, Y., 2018. Déléguer l’allaitement des veaux laitiers aux vaches ? Résultats d’enquêtes auprès des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants.* 66–69.
- Mohammed H.O., Wade S.E., Schaaf S., 1999. Risk factors associated with *Cryptosporidium parvum* infection in dairy cattle in southeastern New York State. *Vet. Parasitol.* 83, 1–13.

- Moore D.A., Atwill E.R., Kirk J.H., Brahmbhatt D., Alonso L.H., Hou L., Singer M.D., Miller T.D., 2003. Prophylactic use of decoquinate for infections with *Cryptosporidium parvum* in experimentally challenged neonatal calves. *J of the Am. Vet. Med. Ass.* 223, 839-845.
- Moore K.M., 2011. Global networks in local agriculture: a framework for negotiation. *J. Agric. Food Info.* 12, 23-39.
- Moran J., 2012. Rearing young stock on tropical dairy farms in Asia. CSIRO Publishing. pp. 296.
- Morgan E.R., van Dijk J., 2012. Climate and the epidemiology of gastrointestinal nematode infections of sheep in Europe. *Vet. Parasitol.* 189, 8–14.
- Morgan E., Charlier J., Hendrickx G., Biggeri A., Catalan D., von Samson- Himmelstjerna G., Demeler J., Müller E., van Dijk J., Kenyon F., Skuce P., Höglund J., Kiely P., van Ranst B., de Waal T., Rinaldi L., Cringoli G., Hertzberg H., Torgerson P., Wolstenholme A., Vercruysse J., 2013. Global change and helminth infections in grazing ruminants in Europe: impacts, trends and sustainable solutions. *Agriculture.* 3, 484-494.
- Murphy T.M., Fahy K.N., McAuliffe, A. 2003. A study of helminth parasites in culled cows from Ireland. *Prev. Vet. Med.* 76, 1-10.
- Naciri M., Lefay M., Mancassola R., Poirier P., Chermette R., 1999. Role of *Cryptosporidium parvum* as a pathogen in neonatal diarrhoea complex in suckling and dairy calves in France. *Vet. Parasitol.* 85, 245–257. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00111-9)
- Naciri M., Lacroix-Lamande S., Laurent F., 2007. La cryptosporidiose chez les jeunes ruminants non sevrés le pouvoir pathogène de *Cryptosporidium parvum*. *Nouv. Pract. Vét. élevage et santé*, 4, 15-20.
- Nansen P.J., Grønvold J., Jørgensen R.J., Henriksen S.A., Foldager J., Sejrsen K., 1989. Outbreaks of early- season trichostrongylosis in calves in Denmark. *Vet. Parasitol.* 32, 199–211.
- Nansen P., Steffan P., Monrad J., Gronvold J., Henriksen S.A., 1990. Effects of Separate and Mixed Grazing on Trichostrongylosis in First- and Second-Season Grazing Calves Experimental design. *Vet. Parasitol.* 36, 265–276.
- Negrão J.A., Marnet P.G., 2002. Effect of calf suckling on oxytocin, prolactin, growth hormone and milk yield in crossbred Gir × Holstein cows during milking. *Reprod. Nutr. Dev.* 42, 373–380.
- Newberry R. C., Swanson J. C., 2008. Implications of breaking mother-young social bonds. *Appl Anim Behav Sci* 110(1–2), 3-23. [doi:10.1016/j.ap-planim.2007.03.021](https://doi.org/10.1016/j.ap-planim.2007.03.021)
- Nielsen B. L., Jong I. C. De, Vries T. J. D., 2016. The use of feeding behaviour in the assessment of animal welfare. *Nutr. Welf. Farm Anim.* 59-84. doi.org/10.1007/978-3-319-27356-3_4
- Nocek J. E., Braund D. G., Warner R. G., 1984. Influence of neonatal colostrum administration, immunoglobulin, and continued feeding of colostrum on calf gain, health, and serum protein. *J. Dairy Sci.* 67, 319–333.
- Nogareda C., Mezo M., Uriarte J., Lloveras J., Cordero Del Campillo M., 2006. Dynamics of infestation of cattle and pasture by gastrointestinal nematodes in an atlantic temperate environment. *J. Vet. Med. B.* 53, 439–444. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.2006.00979.x>
- Novobilský A., Mueller-Harvey I., Thamsborg S.M., 2011. Condensed tannins act against cattle nematodes. *Vet. Parasitol.* 182, 213-220.
- Novobilský A., Stringano E., Hayot Carbonero C., Smith L.M.J., Enemark H.L., Mueller-Harvey I., Thamsborg S.M., 2013. In vitro effects of extracts and purified tannins of sainfoin (*Onobrychis*

- viciifolia) against two cattle nematodes. *Vet. Parasitol.* 196, 532-537.
- O'Donoghue P.J., 1995. *Cryptosporidium* and cryptosporidiosis in man and animals *Int. J. Parasitol.* 25, 139–195.
- O' Handley R.M., Cockwill C., McAllister T.A., Jelinski M., Morck D.W., Olson M.E., 1999. Duration of naturally acquired giardiasis and cryptosporidiosis in dairy calves and their association with diarrhea. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 214, 391-396.
- Olson M. E., J. Goh M. Phillips N. Guselle T. A. Mc, Allister T. A., 1999. *Giardia* cyst and *Cryptosporidium* oocyst survival in water, soil, and cattle feces. *J. Environ. Qual.* 28, 1991–1996. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800060040x>
- Olson M.E., O'Handley R.M., Ralston B.J., McAllister T.A., Thompson R.C.A., 2004. Update on *Cryptosporidium* and *Giardia* infections in cattle. *Trends Parasitol.* 20, 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.01.015>
- Owen J., Slocombe D., Curtis R.A., 1989. Aspects of the epidemiology of nematode infections in a cow-calf herd in Ontario. *Can. J. Vet. Res.* 53, 336–339.
- Pailler I., 2013. Faciliter l'élevage collectif des génisses. *Terra.* 34–35.
- Pailler I., 2017. Recrutons nourrices en CDD pour faire face aux vêlages groupés. *TERRA.* 30–31.
- Panciera R.J., Thomassen R.W., Garner F.M., 1971. Cryptosporidial infection in a calf. *Vet. Pathol.* 8, 479- 484.
- Paraud C., Guyot K., Chartier C., 2009. Prevalence and molecular characterization of *Cryptosporidium* sp. infection in calves, lambs and goat kids reared in a same farm in France. III International *Giardia* and *Cryptosporidium* Conference, 11-15 October 2009, Orvieto, Italy.
- Paraud C., Pors I., Chartier C., 2010. Evaluation of oral tilmicosin efficacy against severe cryptosporidiosis in neonatal kids under field conditions. *Vet. Parasitol.* 170, 149–152.
- Paraud C., Chartier C., 2016. Thérapeutique cryptosporidieuse : quel traitement chez les ruminants ? *Le nouv. prat. vét. élevages et santé.* 8 (33), 45-50.
- Parrain V., 2020 <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/acces-a-lexterieur-des-veaux-laitiers-en-phase-lactee/> publié le 14/04/2020, consulté le 12/06/2021.
- Pena-Espinoza M., Thamsborg S. M., Desrues O., Hansen T. V., Enemark H. L. 2016. Anthelmintic effects of forage chicory (*Cichorium intybus*) against gastrointestinal nematode parasites in experimentally infected cattle. *Parasitology*, 143 (10), 1279–1293. <https://doi.org/10.1017/S0031182016000706>
- Peredes Herbach E., 2016. jairoserrano.com.
- Perri AF, Mejía ME, Licoff N, Diab SS, Formía N, Ornstein A, Becú-Villalobos D, Lacau-Mengido IM. 2013. Gastrointestinal parasite control during prepuberty improves mammary parenchyma development in Holstein heifers. *Vet Parasitol.* 198 (3-4), 345-50. doi: 10.1016/j.vetpar.2013.09.006. Epub 2013 Sep 19. PMID: 24120176.
- Perri AF, Dallard BE, Baravalle C, Licoff N, Formía N, Ortega HH, Becú-Villalobos D, Mejia ME, Lacau-Mengido IM. 2014. Cellular proliferation rate and insulin-like growth factor binding protein (IGFBP)-2 and IGFBP-3 and estradiol receptor alpha expression in the mammary gland of dairy heifers naturally infected with gastrointestinal nematodes during development. *J. Dairy Sci.* 97 (8), 4985-96. doi: 10.3168/jds.2014-8070. Epub 2014 Jun 13. PMID: 24931533.

- Perryman L.E., Kapil S.J., Jones M.L., Hunt E.L., 1999. Protection of calves against cryptosporidiosis with immune bovine colostrum induced by a *Cryptosporidium parvum* recombinant protein. *Vaccine* 17, 2142–2149. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(98\)00477-0](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(98)00477-0)
- Peyraud J., Le Gall A., Delaby L., 2009. Quels systèmes fourragers et quels types de vaches laitières demain ? *Fourrages*, 197 (47), 70.
- Pezon J., 2017 Nos génisses sont élevées sous vache nourrice. *L'éleveur laitier* 261 - 263. 58-60.
- Phelan P., Morgan E. R., Rose H., Grant J., O'Kiely P. 2016. Predictions of future grazing season length for European dairy, beef and sheep farms based on regression with bioclimatic variables. *J. Agri. Sci.* 154, 765–781.
- Placzek M., Christoph-Schulz I., Barth K., 2021. Public attitude towards cow-calf separation and other common practices of calf rearing in dairy farming—a review. *Org. Agric.* 11, 41–50. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00321-3>
- Ploeger H.W., Kloosterman A., Rietveld F.W., Berghen P., Hilderson H., Hollanders W., 1994. Quantitative estimation of the level of exposure to gastrointestinal nematode infection in first-year calves. *Vet. Parasitol.* 55, 287–315. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(94\)90071-X](https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)90071-X)
- Ploeger H.W., Kloosterman A., Rietveld F.W., Hilderson H., Berghen P., Pieke E.J., 1996. Production of dairy replacement stock in relation to level of exposure to gastrointestinal nematode infection in the first grazing season: second-year calves and heifers. *Vet. Parasitol.* 65, 99-115.
- Ploeger H.W., Eysker M., 2000. Simulating *Dictyocaulus viviparus* infection in calves: the parasitic phase. *Parasitology* 120 Suppl, S3-15.
- Ploeger H.W., Eysker M., 2002. Protection against and establishment of *Dictyocaulus viviparus* following primary infection at different dose levels. *Vet Parasitol* 106, 213-223.
- Polack B., Chermette R., Savey M., Bussieras J., 1983. Les cryptosporidies en France. Techniques usuelles d'identification et résultats préliminaires d'enquêtes épidémiologiques. *Le point Vétérinaire*. 15, 41–44.
- Prache S., Benoit M., Boutonnet J.P., Francois D., Sagot L. 2013. La production d'ovins viande en France première partie. *Viandes & Produits Carnés*. 29, 2-10.
- Pryce J., Harris B., Bryant J., Montgomerie W., Klopčič M., Reents R., Philipsson J., Kuipers A., 2009. Do robust dairy cows already exist? In : *Breeding for robustness in 758 cattle*. eds. M Klopčič, R Reents, J Philipsson and A Kuipers, 99-112.
- Quigley J. D., Martin K. R., Bemis D. A., Potgieter L. N. D., Reinemeyer C. R., Rohrbach B. W., Dowlen H. H., Lamar K. C., 1995. Effects of housing and colostrum feeding on serum immunoglobulins, growth, and fecal scores of Jersey calves. *J. Dairy Sci.* 78, 893–901.
- Quílez J., Torres E., Chalmers R.M., Hadfield S.J., del Cacho E., Sánchez-Acedo C., 2008. *Cryptosporidium* genotypes and subtypes in lambs and goat kids in Spain. *Appl. Environ. Microbiol.* 74, 6026-6031.
- RAD 2010. Résultats de l'observatoire technico-économique du RAD. Synthèse 2010. Les Essentiels du réseau agriculture durable, Cesson-Sévigné, France. pp. 20.
- Radostits O., Gay C., Hinchcliff K., Constable P, 2007. *Veterinary medicine – A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats*, 10th edition. Part 2, Chapter 27, Diseases associated with helminth parasites, 1541-1583.
- Rajala P., Castrén H., 1995. Serum immunoglobulin concentrations and health of dairy calves in two

- management systems from birth to 12 weeks of age. *J. Dairy Sci.* 78, 2737–2744.
- Ralston B.J., McAllister T.A., Olson M.E., 2003. Prevalence and infection pattern of naturally acquired giardiasis and cryptosporidiosis in range beef calves and their dams. *Vet. Parasitol.* 114, 113–122. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(03\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00134-1)
- Ramirez N.E., Ward L.A., Sreevatsan S., 2004. A review of the biology and epidemiology of cryptosporidiosis in humans and animals. *Microbes Infect.* 6, 773–785. <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2004.02.021>
- Ravary-Plumioen B., 2014. Maladies intestinales du veau en période néonatale, in: Francoz, D., Couture, Y. (Eds.), *Manuel de Médecine Des Bovins*. pp. 672–685.
- Ravinet N., Chauvin A., Chartier C., Duvauchelle Wache A., 2015. Maîtrise du risque parasitaire lié aux strongles digestifs en troupeaux bovins laitiers. *UMT Maitrise la santé des Troupeaux Bovins*. pp. 121.
- Ravinet N., Chartier C., Merlin A., Chauvin A., 2019. Influence de la conduite de pâturage sur le risque parasitaire lié aux strongles digestifs. In, *Les journées professionnelles de l'Association française pour la production fourragère (AFPF)*, Paris, France, 2019/03/12-13.
- Raynaud J.P., Bouchet A., William G., Leroy J.C., Naudin B., Brunault G., 1976. Bovine ostertagiosis, a review. Analysis of types and syndromes found in France by post mortem examinations and total worm counts. *Ann. Rech. Vet.* 7, 253-280.
- Règlement (CEE) No 2092/91 du conseil du 24 juin 1991 concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et les denrées alimentaires.
- Règlement (CE) N° 834/2007 du conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n°2092/91.
- Règlement (CE) N o 889/2008 de la commission du 5 septembre 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n o 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles.
- Règlement (UE) 2018/848 du parlement européen et du conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) n o 834/2007 du Conseil.
- Reinhardt V., Reinhardt A., 1981. Natural sucking performance and age of weaning in zebu cattle (*Bos indicus*). *J. Agric. Sci.* 96, 309–312. <https://doi.org/10.1017/S0021859600066089>
- Rieux A., Chartier C., Pors I., Delafosse A., Paraud C., 2013. Molecular characterization of *Cryptosporidium* isolates from high-excreting young dairy calves in dairy cattle herds in Western France. *Parasitol. Res.* 112, 3423–3431.
- Ripoche F., 2020. Bovins laitiers et génisses sous nourrices, Un compromis idéal. *Biofil*, 130.
- Robertson L.J., Campbell A.T., Smith H. V., 1992. Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts under various environmental pressures. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 3494–3500.
- Rocha R. A., Araujo J. V., Amarante A. F. 2007. Efficacy of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against infections by *Haemonchus* and *Trichostrongylus* species in lambs at pasture. *J. Helminthol.* 81(4), 387–392. <https://doi.org/10.1017/S0022149X07853697>
- Rodríguez-Ortega T., Oteros-Rozas E., Ripoll-Bosch R., Tichit M., Martín-López B., Bernués A., 2014. Applying the ecosystem services framework to pasture-based livestock farming systems in Europe. *Animal.* 8(8), 1361-72.

- Ropiak H. M., Desrues O., Williams A. R., Ramsay A., Mueller-Harvey I., Thamsborg S. M. 2016. Structure activity relationship of condensed tannins and synergism with transcinamaldehyde against *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 64 (46), 8795–8805. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03842>
- Rose H., Rinaldi L., Bosco A., Mavrot F., de Waal T., Skuce P., Charlier J., Torgerson P.R., Hertzberg H., Hendrick G., Vercruysse J., Morgan E.R., 2015. Widespread anthelmintic resistance in European farmed ruminants: a systematic review. *Vet. Rec.* 176, 1-2.
- Rose Vineer H., Verschave S.H., Claerebout E., Vercruysse J., Shaw D.J., Charlier J., Morgan E.R., 2020. GLOWORM-PARA: a flexible framework to simulate the population dynamics of the parasitic phase of gastrointestinal nematodes infecting grazing livestock. *Int. J. Parasitol.* 50, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.11.005>
- Rossanigo C.E., Gruner L., 1995. Moisture and temperature requirements in faeces for the development of free-living stages of gastrointestinal nematodes of sheep, cattle and deer. *J. Helminthol.* 69, 357-362.
- Ruest N., Faubert G.M., Couture Y., 1998. Prevalence and geographical distribution of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. in dairy farms in Quebec. *Can. Vet. J.* 39, 697–700.
- Ryan U., Fayer R., Xiao L., 2014. *Cryptosporidium* species in humans and animals: Current understanding and research needs. *Parasitology* 141, 1667–1685. <https://doi.org/10.1017/S0031182014001085>
- Ryan U., Hijjawi N., 2015. New developments in *Cryptosporidium* research. *Int. J. Parasitol.* 45, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2015.01.009>
- Sandoval-Castro C.A., Anderson S., Leaver J.D., 1999. Influence of milking and restricted suckling regimes on milk production and calf growth in temperate and tropical environments. *Anim. Sci.* 69, 287–296.
- Sandoval-Castro C.A., Torres-Acosta J.F.J., Hoste H., Salem A.Z.M. Chan-Pérez J.I., 2012. Using plant bioactive materials to control gastrointestinal tract helminths in livestock. *Anim. Feed Sci. Tech.* 176, 192-201.
- Santín M., Trout J.M., Xiao L., Zhou L., Greiner E., Fayer R., 2004. Prevalence and age-related variation of *Cryptosporidium* species and genotypes in dairy calves. *Vet. Parasitol.* 122, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.03.020>
- Santín M., Trout J.M., Fayer R., 2008. A longitudinal study of cryptosporidiosis in dairy cattle from birth to 2 years of age. *Vet. Parasitol.* 155, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.04.018>
- Šarkunas M., Nansen P., Hansen J.W., Paulikas V., 2000. Effects of Mixed Grazing of First- and Second-year Calves on Trichostrongylid Infections in Lithuania. *Vet. Res. Commun.* 24, 125–134. <https://doi.org/10.1023/A:1006464607212>
- Schmitt C., 2018, Bio : que signifie le label européen “Eurofeuille” ? <https://www.touteurope.eu/actualite/bio-que-signifie-le-label-europeen-eurofeuille.html> consulté le 10/07/2020
- Schnieder T., Bellmer A., Tenter A.M., 1993. Seroepidemiological study on *Dictyocaulus viviparus* infections in first year grazing cattle in northern Germany. *Vet. Parasitol.* 47, 289–300. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(93\)90030-Q](https://doi.org/10.1016/0304-4017(93)90030-Q)
- Sekiya M., Zintl A., Doherty M.L. 2013. Bulk milk ELISA and the diagnosis of parasite infections in dairy herds: a review. *Ir. Vet. J.* 66, 14. doi:10.1186/2046-0481-66-14

- Shahiduzzaman M., Dauguschies A., 2012. Therapy and prevention of cryptosporidiosis in animals. *Vet. Parasitol.* 188, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.052>
- Shaw D.J., Vercruyse J., Claerebout E., Dorny P., 1998. Gastrointestinal nematode infections of first-grazing season calves in Western Europe: Associations between parasitological, physiological and physical factors. *Vet. Parasitol.* 75, 133–151. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00213-6)
- Silverlås C., Björkman C., Egenvall A., 2009. Systematic review and meta-analyses of the effects of halofuginone against calf cryptosporidiosis. *Prev. Vet. Med.* 91, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.05.003>
- Silverlås C., Näslund K., Björkman C., Mattsson J.G., 2010. Molecular characterisation of *Cryptosporidium* isolates from Swedish dairy cattle in relation to age, diarrhoea and region. *Vet. Parasitol.* 169, 289–295. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.01.003>
- Sirovnik, J., Barth, K., Oliveira, D. De, Ferneborg, S., Haskell, M.J., Hillmann, E., Jensen, M.B., Mejdell, C.M., Napolitano, F., Vaarst, M., Verwer, C.M., Waiblinger, S., Zipp, K.A., Johnsen, J.F., 2020. Methodological terminology and definitions for research and discussion of cow-calf contact systems. *J. Dairy Res.* <https://doi.org/10.1017/S0022029920000564> Receiv. 87(S1), 1–7.
- Sischo W.M., Atwill E.R., Lanyon L.E., George J., 2000. Cryptosporidia on dairy farms and the role these farms may have in contaminating surface water supplies in the northeastern United States. *Prev. Vet. Med.* 43, 253–267. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(99)00107-5)
- Skuce P.J., Morgan E.R., van Dijk J., Mitchell M., 2013. Animal health aspects of adaptation to climate change: beating the heat and parasites in a warming Europe. *Animal* 7, 333–345.
- Smith B.P., 2008. *Large Animal Internal Medicine*. 4th edition. Mosby Elsevier, Saint- Louis, MO, 340-357.
- Soulsby E.J.L., 1982. *Helminthes, arthropods and protozoa of domesticated animals*, 7th Edition. Part 1: helminthes, Section: Nematodes, Baillière Tindall Editions (London), pp. 212-258.
- Starkey S.R., Kimber K.R., Wade S.E., Schaaf S.L., White M.E., Mohammed H.O., 2006. Risk factors associated with *Cryptosporidium* infection on dairy farms in a New York State watershed. *J. Dairy Sci.* 89, 4229–4236. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72468-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72468-7)
- Stěhulová I., Lidfors L., Špinko M., 2008. Response of dairy cows and calves to early separation: Effect of calf age and visual and auditory contact after separation. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 110, 144-165.
- Stromberg B.E., 1997. Environmental factors influencing transmission. *Vet. Parasitol.* 72, 247-264.
- Stromberg B.E., Averbeck G.A., 1999. The role of parasite epidemiology in the management of grazing cattle. *Int. J. Parasitol.* 29, 33-39.
- Sumner C. L., von Keyserlingk M. A. G., 2018. Canadian dairy cattle veterinarian perspectives on calf welfare. *J. Dairy Sci.* 101, 10303–10316.
- Sutherland I.A., Leathwick D.M., 2011. Anthelmintic resistance in nematode parasites of cattle: a global issue? *Trends Parasitol.* 27, 176-180.
- Svensson C., Hessel A., Höglund J., 2000. Parasite control methods in organic and conventional dairy herds in Sweden. *Livest. Prod. Sci.* 66, 57–69. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00155-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00155-X)
- Svensson C., Lundborg K., Emanuelson U., Olsson S., 2003. Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases. *Prev. Vet. Med.* 58, 179–197.
- Szonyi B., Chang Y.F., Wade S.E., Mohammed H.O., 2012. Evaluation of factors associated with the risk

- of infection with *Cryptosporidium Parvum* in dairy calves. *Am. J. Vet. Res.* 73, 76–85. <https://doi.org/10.2460/ajvr.73.1.76>
- Szyska O., Kyriazakis I., 2013. What is the relationship between level of infection and ‘sickness behaviour’ in cattle? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 147, 1-10.
- Szyska O., Tolkamp B.J., Edwards S.A., Kyriazakis I., 2013. Do the changes in the behaviours of cattle during parasitism with *Ostertagia ostertagi* have a potential diagnostic value? *Vet. Parasitol.* 193, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.10.023>
- Takeuchi-Storm N., Moakes S., Thüer S., Grovermann C., Verwer C., Verkaik J., Knubben-Schweizer G., Höglund J., Petkevičius S., Thamsborg S., Werne S., 2019. Parasite control in organic cattle farming: Management and farmers’ perspectives from six European countries. *Vet. Parasitol. Reg. Stud. Reports* 18, 100329. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2019.100329>
- Taylor M.A., Coop R.L., Wall R.L. 2007 *Veterinary parasitology*, 3ème édition. Blackwell publishing, Oxford, pp. 874
- Terrill T. H., Miller J. E., Burke J. M., Mosjidis J. A., Kaplan R. M. 2012. Experiences with integrated concepts for the control of *Haemonchus contortus* in sheep and goats in the United States. *Veterinary Parasitology*, 186 (1–2), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.043>
- Tichit M., Dumont B., 2016. L’agroécologie : Origines, bases scientifiques et déclinaisons en élevages, in: *L’agroécologie, Du Nouveau Pour Le Pastoralisme ?* 16–26.
- Thatcher A., 2012. Grazing Strategies to Prevent Parasitism of Organic Dairy Calves. 2nd IFOAM / ISOFAR International Conference on Organic Animal Husbandry, Hamburg, Germany, 12–15.
- Thomas G. W., Spiker S. A., Mickan F., 1981. Influence of suckling by Friesian cows on milk production and anoestrus. *Aust. J. Exp. Agric.* 21, 5–11.
- Thompson H.P., Dooley J.S., Kenny J., McCoy M., Lowery C.J., Moore J.E., Xiao L., 2007. Genotypes and subtypes of *Cryptosporidium* spp. in neonatal calves in Northern Ireland. *Parasitol. Res.* 100, 619-624.
- Thymen J.C., Miniou J., 2012. Monotraite et élevage des génisses par des nourrices. *Relait National*, 104, pp. 23.
- Torres-Acosta J.F.J., Hoste H., 2008. Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Ruminant Res.* 77, 159-173.
- Touret C., 2015, La bio au-delà d’un mode de production, un projet de renouveau socio-économique. In : *POUR, la revue du groupe ruralité, éducation et politiques*, 227, 141-149.
- Trotz-Williams L.A., Jarvie B.D., Martin S.W., Leslie K.E., Peregrine A.S., 2005. Prevalence of *Cryptosporidium parvum* infection in southwestern Ontario and its association with diarrhea in neonatal dairy calves. *Can. Vet. J.* 46, 349–351.
- Trotz-Williams L.A., Wayne, M. S., Leslie K.E., Duffield T., Nydam D. V., Peregrine A.S., 2007. Calf-level risk factors for neonatal diarrhea and shedding of *Cryptosporidium parvum* in Ontario dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 82, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.003>
- Trotz-Williams L.A., Martin S.W., Leslie K.E., Duffield T., Nydam D. V., Peregrine A.S., 2008. Association between management practices and within-herd prevalence of *Cryptosporidium parvum* shedding on dairy farms in southern Ontario. *Prev. Vet. Med.* 83, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.03.001>
- Trotz-Williams L.A., Jarvie B.D., Peregrine A.S., Duffield T.F., Leslie K.E., 2011. Efficacy of halofuginone

- lactate in the prevention of cryptosporidiosis in dairy calves. *Vet. Rec.* 14, 168(19). 509. doi: 10.1136/vr.d1492.
- Tzipori S., 1983. Cryptosporidiosis in animals and humans. *Microbiol. Rev.* 47, 84-96.
- Uga S., Matsuo J., Kono E., Kimura K., Inoue M., Rai S.K., Ono K., 2000. Prevalence of *Cryptosporidium parvum* infection and pattern of oocysts shedding in calves in Japan. *Vet. Parasitol.* 94, 27–32.
- Urie N.J., Lombard J.E., Shivley C.B., Adams A.E., Koprak C.A., Santin M., 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: Part III. Factors associated with *Cryptosporidium* and *Giardia* in preweaned dairy heifer calves. *J. Dairy Sci.* 101, 9199–9213. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14060>
- Vaarst M., Jensen M.B., Sandager A.M., 2001. Behaviour of calves at introduction to nurse cows after the colostrum period. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 27–33. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00120-4)
- Vaarst M., Hellec F., Verwer C., Johanssen J.R.E., Sørheim K., 2020a. Cow calf contact in dairy herds viewed from the perspectives of calves, cows, humans and the farming system. Farmers' perceptions and experiences related to dam-rearing systems. *J Sustainable Organic Agric Syst* · 70(1), 49–57. <https://doi.org/10.3220/LBF1596195636000>
- Vaarst M., Roderick S., Martin G., Gunnarson S., Spengler Neff A., Bieber A., Grete Kongsted A. 2020b Potentials, challenges and visions for future European organic animal farming IAHA Video-Conference on 684 Organic Animal Husbandry. 23–26.
- Vanderstichel R., Dohoo I., Sanchez J., Conboy G. 2012. Effects of farm management practices and environmental factors on bulk tank milk antibodies against gastrointestinal nematodes in dairy farms across Canada. *Prev. Med. Vet.* 104, 53-64.
- Van Dijk J. 2004. The epidemiology and control of dictyocaulosis in cattle. *Cattle Practice.* 12, 133-145.
- van Dijk J., Louw M.D.E., Kalis L.P.A., Morgan E.R., 2009. Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. *Int. J. Parasitol.* 39, 1151–1156.
- Van Meensel J., Kanora A., Lauwers L., Jourquin J., Goossens L., Van Huylbroeck G. 2010. From research to farm: Ex ante evaluation of strategic deworming in pig finishing. *Veterinari Medicina*, 55, 483– 493.
- Van Oudenhoven A., Petz K., Alkemade R., Hein L., de Groot R., 2012. Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. *Ecological Indicators* 21, 110–122.
- Veissiera I., Boissya A., Nowak R., Orgeur P., Oindron P.P., 1998. Ontogeny of social awareness in domestic herbivores. *Appli. Anim. Behav. Sci.* 57, 233-45.
- Veissier, I., Caré, S., Pomiès, D., 2013. Suckling, weaning, and the development of oral behaviours in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 147, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.05.002>
- Ventura B. A., von Keyserlingk M. A., Schuppli C. A., Weary D. M., 2013. Views on contentious practices in dairy farming: The case of early cow-calf separation. *J. Dairy Sci.* 96, 6105–6116.
- Ventura B. A., von Keyserlingk M. A., Wittman H., Weary D. M., 2016. What difference does a visit make? Changes in animal welfare perceptions after interested citizens tour a dairy farm. *PLoS One* 11:e0154733.
- Vercruyse J., Claerebout E., 1997. Immunity development against *Ostertagia ostertagi* and others

- gastrointestinal nematodes in cattle. *Vet. Parasitol.* 72, 309-326.
- Vercruyse J., Claerebout E., 2001. Treatment vs non-treatment of helminth infections in cattle: Defining the threshold. *Vet. Parasitol.* 98, 195–214. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00431-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00431-9)
- Verschave S.H., Charlier J., Rose H., Claerebout E., Morgan E.R., 2016. Cattle and Nematodes Under Global Change: Transmission Models as an Ally. *Trends Parasitol.* 32, 724–738. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.018>
- Villacorta I., Peeters J.E., Vanopdenbosch E., Ares-Mazas E., Theys H., 1991. Efficacy of halofuginone lactate against *C. parvum* in calves, *Antimicrobs. Agents. Chemother.* 35, 283-287.
- Vitale A. F., Tenucci M., Papini M., Lovari S., 1986. Social behaviour of the calves of semi-wild Maremma cattle, *Bos primigenius taurus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16, 217–231.
- Vlaminck J., Borloo J., Vercruyse J., Geldhof P., Claerebout E. 2015. Vaccination of calves against *Cooperia oncophora* with a double-domain activation-associated secreted protein reduces parasite egg output and pasture contamination. *Int. J. for Parasit.*, 45(4), 209–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2014.11.001>
- Vollet D., Huguenin-Elie O., Martin B., Dumont B., 2017. La diversité des services rendus par les territoires d'élevage herbagers fournissant des produits de qualité dans des environnements préservés. *INRA Productions Animales* 30, 333–350.
- von Holtum C., Strube C., Schnieder T., von Samson-Himmelstjerna G., 2008. Development and evaluation of a recombinant antigen-based ELISA for serodiagnosis of cattle lungworm. *Vet. Parasitol.* 151, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.11.006>
- Wade S.E., Mohammed H.O., Schaaf S.L., 2000. Prevalence of *Giardia* sp., *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium muris* (*C. andersoni*) in 109 dairy herds in five counties of southeastern New York. *Vet. Parasitol.* 93, 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(00\)00337-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(00)00337-X)
- Wagenaar J.P., Langhout J., 2007. Practical implications of increasing “natural living” through suckling systems in organic dairy calf rearing. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 54, 375–386. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(07\)80010-8](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(07)80010-8)
- Wagner K., Seitner D., Barth K., Palme R., Futschik A., Waiblinger S., 2015. Effects of mother versus artificial rearing during the first 12 weeks of life on challenge responses of dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 164, 1–11.
- Waller P.J., 2006. Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant livestock by grazing management and biological control. *Anim. Feed Sci. Tech.* 126, 277–289.
- Warner K.D., 2008. Agroecology as participatory science: Emerging alternatives to technology transfer extension practice. *Sci. Technol. Hum. Values* 33(6), 754–777. <https://doi.org/10.1177/0162243907309851>
- Weary, D.M., Chua, B., 2000. Effects of early separation on the dairy cow and calf: 1. Separation at 6 h, 1 day and 4 days after birth. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 177–188. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00128-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00128-3)
- Wilson L., Sommerville E., Mason P., 2007. A handbook of sustainable worm management strategy for livestock farmers. *Wormwise, Meat and Wool New Zealand.*
- Wilson L., Rhodes A. P., Dodunski G. 2015. Parasite management extension Challenging traditional practice through adoption of a systems approach. *N. Z. Vet. J.* 63, 292–300.

- Windsor P. A., Whittington R. J., 2010. Evidence for age susceptibility of cattle to Johne's disease. *Vet. J.* 184, 37–44.
- Wyatt C.R., Riggs, M.W., Fayer, R., 2010. Cryptosporidiosis in Neonatal Calves. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 26, 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.10.001>
- Xiao L., Herd R.P., 1994. Quantitation of Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in fecal samples by direct immunofluorescence assay. *J. Clin. Microbiol.* 31, 2944-29446.
- Xiao L., Ryan U. M., 2004. Cryptosporidiosis: an update in molecular epidemiology. *Curr. Opin. Infect. Dis.* 17, 483-490.
- Xiao L., Zhou L., Santín M., Yang W., and Fayer R., 2007. Distribution of Cryptosporidium parvum subtypes in calves in eastern United States. *Parasitol. Res.* 100, 701-706.
- You G., Monniot C., 2013. Forces et faiblesses du modèle laitier irlandais. *Renc. Rech. Ruminants*, 20, 353-356.
- Zambriski J.A., Nydam D. V., Wilcox Z.J., Bowman D.D., Mohammed H.O., Liotta J.L., 2013. Cryptosporidium parvum: Determination of ID50 and the dose-response relationship in experimentally challenged dairy calves. *Vet. Parasitol.* 197, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.04.022>
- Zeng S., Brown S., Przemec S.M.C., Simpson H.V., 2003. Milk and milk components reduce the motility of Ostertagia circumcincta larvae in vitro. *N. Z. Vet. J.* 51, 174–178.

Chapitre 2 : Introduction and development of the nurse cow system in organic dairy farms in France

(Article 1)

Soumis à Frontier in Animal sciences



Introduction and development of the nurse cow system in organic dairy farms in France

Caroline Constancis^{1*}, Florence Hellec², Nathalie Bareille¹, Mette Vaarst³

¹INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44300, Nantes, France

² INRAE, SAD–ASTER, Unité Agro-Systèmes Territoires Ressources, Mirecourt, France

³ Aarhus University, Department of Animal Science, Research Centre Foulum, Tjele, Denmark

Keywords: cow-calf contact, nurse cows, organic dairy farming, farmer experiences, agro-ecology

Abstract

The rearing of dairy calves, in conventional or organic farming, is questioned by many actors in society, particularly for its early separation of calves from the dam and its lack of naturalness in terms of contact between the calves and the cows. The nurse cow rearing system has been developed in France since 2010. The aims of this article are to explain farmers' motivations for establishing the nurse cow system and to describe the ways in which they have implemented it, in terms of daily practice and as part of their organic dairy farm. Individual interviews were conducted between January and March 2019 on 20 organic farms that had implemented this practice. Data collection and analysis was inspired by the Grounded Theory method. This system is designed around a small herd of nurse cows, each of which rears two or three replacement calves in a low-input pasture-based system. Calves are separated from their dam after an average of 4.5 days (1 to 30 days). The fostering phase, which aims to stimulate the bonding process between calves and nurse cows, is realised by letting them stay together for some days in a small fostering pen. Calves and nurse cows are then turned out to pasture together. Weaning and separation take place at the same time, when the calves are between 4 and 10 months old. Other innovative practices are often performed on these farms, such as cross-breeding, seasonal calving, and once-a-day milking. The farmers perceived their nurse cows systems as working very well and relatively easy to implement in a large variety of grazing-based farms, as well as in terms of their profitability and working conditions. According to the farmers, the calves reared with nurse cows seem to have high growth rates, which allows them to have a first calving at 24 months old. This rearing has mainly been transmitted by the farmers or through exchange groups and, although elements of 'naturalness' can be questioned, these systems seems to fit well into an agro-ecological transition.

1. Introduction

The ethical principles of organic farming, as stated by IFOAM in 2005, insist on animal health and welfare. Animal welfare is mostly regarded as making it possible for animals to express their natural behaviour (Vaarst and Alrøe, 2012). Naturalness is also a matter of concern for consumers and citizens. Some researchers who have analysed organic farmers' practices suggest that there is room for improvement, in particular in relation to calf rearing (Marley et al., 2010). In European organic dairy farms, current management is to separate calves from their dam quickly after birth, to house them indoors, and to feed them with whole milk from the farm until the age of 3 months. These calves do not meet adult cows before their first calving.

This current organic method of rearing dairy calves is questioned today in several respects. Some research states that separation quickly after birth may appear less traumatic because there is less

vocalisation than with a separation after the dam-calf bond has been established (Weary and Chua, 2000). But early separation deprives the calf and its dam of natural interaction such as maternal care, learning, and socialising and is criticised from an animal welfare point of view (von Keyserlingk and Weary, 2007). It has been claimed for decades that weaning in this method is too early and too brutal compared to what happens in nature where the calf is weaned at between 8 and 11 months (Reinhardt and Reinhardt, 1981), with a gradual transition between milk feeding and grass grazing, such as in beef cattle systems. Early weaning can lead to behavioural disturbances among calves, such as sucking on body parts of other calves (cross-sucking) and on pen equipment (Veissier et al., 2013). Increasingly critical voices in society point to the animal welfare consequences of this separation immediately after birth and encourage contact between the cow and the calf until weaning (Agenäs, 2017). Regarding housing, French legislation encourages young calves to be offered outdoor access in organic farming when suitable, e.g. during certain weather conditions.

To improve dairy calves' living conditions and respond to the growing public debate and awareness about ethical alliances between humans and farmed animals (Vaarst et al., 2020), rearing systems based on cow-calf contact have been designed and implemented on organic dairy farms. One calf-dam system in which calves stay with their dam for a couple of weeks after birth has been implemented experimentally recently on organic dairy farms in Europe (Vaarst et al., 2020). Another calf rearing system based on cow-calf contact is the calf-nurse cow rearing system. In this system, cows are taken out of the milking herd to nurse two to four calves, which have free access to the nurse cow. This system requires a fostering phase to stimulate the bonding process between the calves and the nurse cow by letting them stay together for some days apart from the others. This type of rearing system was investigated in several experiments during the late 1960s and 1970s in New Zealand (Krohn, 2001), but it has developed only recently in Europe. In France, recent studies show that the nurse cow rearing system is more common for rearing female calves than the dam rearing system (Michaud et al., 2018). Studies of nurse cow systems focusing on their effects on calves' growth and health have recently been conducted (Constancis et al., 2020a, 2020b, 2021). However, information on farmers' motivations for implementing the nurse cow rearing system, as well as on how it is implemented in French dairy farms and how it works in more detail, is sparse. The aims of this article are to explain the farmers' motivations for establishing the nurse cow system and to describe the ways in which they have implemented it, in terms of daily practice and as part of their organic dairy farms, and how they experience it in a French context.

2. Material and methods

2.1. The setting: how the nurse cow system in France was introduced and diffused

In September 2009, a group of 17 organic farmers from Finistère went on a study trip to the UK to learn about how improved pasturing could make their farms more economical, autonomous and profitable. They visited, among others, two interesting farms. On the first farm, 500 dairy cows all calved within 6 weeks, during March-April. In the beginning 10 groups of 30 calves were fostered, each with 10 nurse cows. After the cows were turned out to pasture, approximately 100 nurse cows took care of 300 calves, until their separation and weaning at the end of September. This farmer had organised and implemented this rearing system on his own initiative. The second farm visited had recently implemented a similar nurse cow rearing system, inspired by the first farmer. He had compared 2 groups of 40 heifers, one of which was milkbar-fed for 14 weeks, and the other was reared with nurse cows. He weighed them at 6 months of age and found that the foster calves were on average 40 kg heavier than the milkbar-fed calves. In addition, he found the nurse cow system easier to work with (Pailler, 2013).

Seven of the French visiting farmers implemented a nurse cow system on their farm during spring 2010 and 2011. They mostly isolated each individual nurse cow with three to four calves in a smaller pen to ensure bonding, before turning them out to pasture with the rest of the group. They experienced fewer cases of calf diarrhoea, and generally good growth and earlier grazing among the calves. They also found that the nurse cow system was fairly easy to manage in most cases.

2.2. Selection and recruitment of farmers

We obtained information about commercial organic dairy farms rearing calves with nurse cows, located in the major dairy cattle breeding area of France (northwestern France: Brittany, Normandy, Pays de la Loire), from several professional organisations (Organic Farmers Associations, vet practitioners, livestock advisers and regional Chambers of Agriculture). Based on this, we created a list of three inclusion criteria: being an organic farm, rearing their replacement calves with nurse cows and grazing all their cows together. This formed a list of 32 potential interviewees, whom we contacted by telephone. Two farmers declined our invitation to participate in the study due to lack of time and ten did not answer the phone. The remaining 20 farmers agreed to participate in the study. The interviewees did not receive financial benefits for their participation.

2.3. Data collection and analysis

The first author conducted individual interviews with questionnaires and some open-ended questions of each farmer between January and March 2019. The interviews lasted between 1 and 1.5 hours and were followed by a farm visit led by the farmer. The first author took notes during all interviews. The interview guide included a general presentation of the farm and of the farmer, the implementation of rearing calves with nurse cows, a detailed description of this rearing on that particular farm, and how the farmer perceived the management, challenges and performance.

The notes were organised into two main data sets: 1) information on the rearing systems and their implementation and 2) farmer motivations and perceptions of the nurse cow systems. The questions here were of more qualitative type, and therefore the notes in data set 2 were organised into meaning condensates, coded and organised into categories across the interviews to investigate structures and connections between the categories were identified. This approach was inspired by the Grounded Theory method (Charmaz, 2014) in the way that the first author organised in themes, especially regarding the farmers' perceptions of the nurse cow system.

3. Results

3.1. Characteristics of the farms and farmers

The farmers participating in the study were organic farmers between 1998 and 2019 (**Table 1**). The farms were 117 ha on average (42 ha to 230 ha) of which 87% on average (48% to 100%) was pasture. Dairy herds had on average 80 dairy cows (35 to 120 cows). The vast majority of the herds ($n = 15/20$) were crossbred with a wide variety of breeds (Holstein, Normande, Jersey, Montbeliarde, Swedish Red Polled, French Brown, and Flemish Red). The other herds were Holstein ($n = 4$) or Jersey ($n = 1$). On average, 9 cows (6 to 20) were selected as nurse cows, which represented 12% (8% to 18%) of the cows on the farm (**Table 2**). Nineteen (10 to 40) replacement heifers were kept per year on average, which represented a herd replacement percentage of 27% (20% to 45%). Once-a-day milking was also realised on eight farms for at least part of the year. Calving period could be only in spring ($n = 6$), in two periods ($n = 8$) or all year round ($n = 6$). Seven of these farmers sold directly from the farm or a market, and four of those also had a dairy processing workshop.

Table 1: Characteristics of the 20 organic dairy farms included in the study

Farm ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Year certified organic	2009	2014	2000	1998	2016	2017	1998	2018	2000	2019	1998	2011	2012	1998	2000	2012	2007	2009	2017	2009
Surface of the farm (Ha)	90	56	120	60	275	115	104	123	200	135	230	60	42	160	100	105	106	95	117	48
Breed	H, N, P cross	H, M, J, SR, N cross	H Pure	H, J, SR, M cross	H pure	J Pure	H, N pure and cross	H, NR, BS cross	N, M, H cross	H pure	N, J, NR cross	J, H pure and cross	H pure	H, M, J cross	H, SR, J cross	N and H pure	H, S, N, RDP, FR cross	H, J, NR cross	H, M, SR, J cross	H, BS, M, J, SR cross
Number of lactating cows	70-75	65	55-60	40	120	100	35-45	70	70	85	100	50	38	50	75-80	60-65	65	70	55-60	65
Milk production (L/cow/year)	4500-5000	4000	4100	4000 - 4500	8500-9000	4500 - 5000	5500	7600	5000	7800 - 8000	4500	3500	6000 - 7000	3700	6000-7000	5000	3500	5000	6000-6500	4500
Number of milkings per day	2; 1 at begin & end of lactation	2; 1 at begin & end of lactation	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2; 1 at end of lactation

H: Holstein, N: Normande, J: Jersey, SR: Swedish Red Polled, M: Montbéliarde, RDP: Rouge des Prés (French local breed), P: Pie rouge des plaines (French local breed), BS: Brown Swiss, NR: Norwegian Red, S: Simmental, FR: Flemish Red.

Table 2: Key characteristics of the nurse cow systems in the 20 organic dairy farms included in the study

Farm ID	Nurse cow implementation year	Calving periods	Number of replacement calves	Number of nurse cows	Number of calves per nurse	how long with it dam	Artificial milk feeding	Age at weaning (months old)
1	2013	all year round	18	8	2 to 3	1 to 3 days	Yes	4
2	2014	2-4	17	7	2 to 4	1 to 3 days	No	9
3	2017	2-4; 8-10	15	6	1 to 3	1 to 3 days	No	6
4	2016	3-6	10	7	1 to 5	1 to 3 days	No	6
5	2018	all year round	40	15	2 to 3	< 12 hours	Yes	5
6	2017	all year round	22	10	1 to 3	1 to 3 days	No	5
7	2017	all year round	11	6	2	> 3 days	No	9
8	2016	2-6; 9-10	33	11	1 to 5	1 to 3 days	Yes	9
9	2013	3-5; 10	18	9	2	15 to 21 days	No	10
10	2015	2-5; 8-10	25	11	2 to 4	1 to 3 days	Yes	5
11	2018	2-5; 8-10	30	20	1 to 5	1 to 3 days	No	7
12	2013	3-4; 9-10	12	6	2 to 4	1 to 3 days	No	8
13	2017	all year round	10	7	1 to 3	8 to 30 days	No	4
14	2018	3	13	7	1 to 3	1 to 3 days	Yes	7
15	2015	all year round	15	8	2	12 to 24 hours	Yes	6
16	2015	2-3; 7-10	15	7	1 to 3	1 to 3 days	No	5
17	2013	1-5	19	12	1 to 2	< 12 hours	Yes	7
18	2016	2-3	16	6	2 to 3	12 to 24 hours	Yes	8
19	2017	7-8	16	7	2 to 3	> 3 days	No	5
20	2017	3-6, 9-11	34	14	3 to 4	1 to 3 days	Yes	4

Twelve farmers had a higher technical education, four were agricultural engineers, and two had attempted the secondary-school teaching diploma. Four other farmers had worked, respectively, as a Chamber of Agriculture adviser, a milk recording company employee, a biochemist, and a baker. Regarding activities and duties outside the farm, almost all the farmers had participated in between 1 and 5 exchange groups, on average over 8 half-days per year (3 to 20 half-days). The exchanges concerned many different focus areas such as the management of dairy farming based on grazing, rearing calves with nurse cows, milking once a day, cross-breeding and seasonal calvings. Nine of the participating farmers had participated in courses where they were taught by the local organic vet in homeopathy, phytotherapy or acupuncture.

3.2. Implementation of nurse cow rearing in participating farms

As can be seen in Table 2, the farmers began to implement rearing of calves with nurse cows between 2013 and 2018. All the interviewed farmers were involved in the decision to implement a nurse cow system. The farmers got their first knowledge about this rearing system through colleagues from other farms (n = 9), from exchange groups (n = 6) or from the Internet and the agricultural press (n = 4). Farmer F9 got inspired to try a nurse cow system on his own after having talking with other people of his farm. The majority of the farmers (n = 16) sought advice from other farmers who had already implemented this system, before trying it out themselves.

3.2.1. Motivations to implement this calf rearing system

The farmers identified several factors that motivated them to implement this rearing system such as natural and ethical aspects (n = 10), simplified and/or reduced work (n = 10), increased profit (n = 8), fewer health disorders (n = 9), and better calf growth to allow heifers to calve early at two years old (n = 8).

Concerning the ethical and natural aspect, the farmers emphasised that they were attracted by this system by the better vision from a societal and environmental point of view with calves out to pasture with their nurse cow without using any artificial or chemical inputs. This rearing system was viewed as improving animal welfare: it is more natural, closer to a beef system, without having to separate the calf from its dam as soon as it is born. This rearing system allows a transmission of knowledge between the cows and the calves, even though the nurse cows are not the dams of the calves. Thus, from the farmers' perspective, this rearing permits having an image that is more coherent with organic agriculture and allows them *'to defend a citizen and ecological development by respecting the biodiversity'* (Farmer 18). This system also makes it possible to enhance the value of natural grasslands (n = 2).

This rearing also allows a simplification and a reduction of the working time with a decrease of the workload and logistics. Indeed, it requires little handling of the animals. This rearing is also profitable with a reduction in the purchase of drugs, straw and concentrated feed since the calves are fed by cows or grass from the pasture, and a reduction in the unproductive time of the animals with possible calving at two years. This is possible because the calves have good growth and no sanitary problems (neonatal diarrhoea or parasitism at pasture). This system also allows a cleaning of the barn, as farmer F16 mentioned: *'I had problems of diarrhoea on the calves at the end of winter in the previous system. It was difficult to manage. The implementation of this system allowed me to make a clean-out in the barns, which reduced the diarrhoea. In addition, this system allows for a good growth of the calves, a transmission of knowledge from the cows to the calves while reducing my work time.'*

Farmer F20 stated: *'I was impressed by this rearing system which allowed me to have a first calving at 24 months without concentrate or anthelmintic and by decreasing the production costs.'*

A third of the farmers implemented this management in a particular context: an absent or unsatisfactory nursery, a change of management such as conversion to organic, or the presence of two twins on the farm reared with their dam.

Farmer F8 commented: *'When I converted to organic farming, I did not want to do what I did before. Moreover, in organic farming the price of concentrate feed and straw is more expensive and I did not want to increase the costs of the farm. When I visited a farm with a nurse cow system, I thought it was so cute to see the calves on pasture with their nurses.'*

3.2.2. Experienced challenges and identified solutions in the implementation phase

When the farmers started implementing this system, they had to face four main challenges and found solutions to overcome them (**Table 3**). The first one, experienced by 11 farmers, was to establish the bond between the nurse cow and the calves. This process is called 'fostering' in the following. In practice it was one nurse cow and two to three calves were brought together in a small pen, where the farmer either could fix the cow at the feeding rack, with shackles if necessary, or spend more time with the calves. Farmers learned from this, and learned how to select good nurse cows, among others in early lactation, and to ensure that the calves and the nurse cow were bonded, before they were moved to the group of nurse cows with calves. If the bond between cow and calves did not develop, they could change the cow.

Table 3: Challenges experienced by the interviewed farmers in their nurse cow systems, and their identified solutions at the implementation

Challenges at the implementation	Solutions identified by the farmers
Fostering	
Nurse cows did not accept foster calves	Changed the nurse cows, chose one week old calves
Fostering pen too large	Smaller pens
Nurse cows too late in lactation, so less interested in calves	Selected nurse cows in early lactation
Fostering process in groups with all calves and all the nurse cows, instead of individual pens	Separated fostering pen with only one nurse cow and her foster calves
Lack of feeding rack/ possibilities to tie the cow during the first sucklings	Blocked the cow at the feed rack or with shackle if necessary
Lack of experience regarding what to be alert about in the nurse cow system	Spent more time and being more focused and attendant during fostering
How many calves to foster per nurse cow?	
Calves were drinking too much milk	Increased the number of calves per nurse cow
Calves were not drinking enough milk	Two calves only per nurse cow, weaned the smaller calves later
Rearing on grass	
One more group on pasture	Early first calving
Calves could break or pass under the wires	Two wires on the fence on pasture
Wild calves	Farmers spent more time, changed them to paddock more frequently
Much vocalisation and breaking through fences during separation	Left the nurse cows to the barn for a week at weaning/separation, as a two-step weaning.
Nurse cows	
Nurse cows became too thin	Gave extra fodder or concentrate
Insemination failed of nurse cows	

The second challenge was to learn how many calves could be fostered per nurse cow ($n = 5$). Some farmers thought that calves were drinking too much milk, if there were only two calves per nurse cow. Others limited themselves to two calves per nurse cow and weaned calves earlier, to try to avoid the body condition of the nurse cows becoming too low or the calves starting to compete for feed. Five farmers experienced that the nurse cows became too thin, and insemination of them proved to be impossible after they had been taken out of the nurse cow system.

The third challenge was about animal management, and five of the interviewed farmers described challenges related to the grazing systems. Indeed, this rearing resulted in an additional group needing to be managed on pasture. Some farmers put a couple of wires across the fence to prevent the calves from passing underneath. Farmers could also have wild calves, and were then afraid to inseminate the heifers after they had grown up in this system. To avoid this, they made sure the calves spent more time with the group or changed them to paddock more frequently. Farmer F7 confirmed this: *'Before I used to go to see them in the pasture every 2 or 3 days, now I go at least once a day so that they are less wild.'* Another challenge was the cows being in low body condition, and the nurse cows needing extra care and feed after having been separated from the calves. Four farmers gave extra fodder or concentrate to the nurse cows in the pasture. For example, farmer F6 mentioned: *'Before, I used to give the nurse cows only the refusals of the dairy cows. It wasn't rich enough and now I give them the same feed as the dairy cows.'*

3.3. Description of the nurse cow rearing system

The rearing practices of the calves greatly varied among the farms, but they consisted basically of three phases: a compulsory first phase with the dam, followed by an optional phase of artificial milk feeding (calves milk-fed by the farmer), and a last phase of fostering by a nurse cow before turn-out to pasture (**Figure 1**). As mentioned above, this 'fostering' can be defined as a bonding process between the calves and the nurse cows that develops by letting them stay together for some days in isolation from the others.

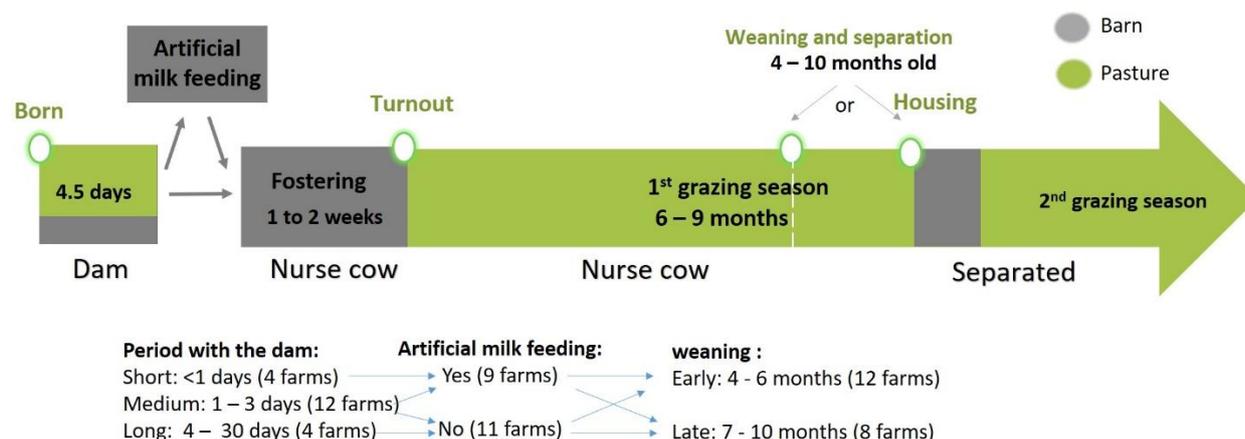


Figure 1: Illustration of the time line of the nurse cow rearing system.

3.3.1. Calving and rearing before fostering

Calving took place outdoors as much as weather conditions allowed ($n = 10$) or always outdoors ($n = 7$) or always indoors ($n = 3$). The majority of calvings ($n = 15$) took place in the group of dry cows. Most farmers ($n = 14$) paid attention to calvings during the day but not at night. They mostly observed the calves to determine whether they had enough colostrum (dry, looked good, running or sleeping on a round abdomen) or the dam (minimum one clean teat, a quarter empty or the teat closures removed) rather than observing the actual suckling taking place. A third of the farmers tube-fed the calf with the

dam's colostrum when in doubt, and allowed the calf to stay for more or less time with the dam (Figure 1). Four farmers separated the calf from its dam within one day, while 12 farmers left the calf with its dam for between 1 and 3 days, and the dams were machine-milked in half of these farms. In four herds, the calf stayed with its dam between three days and one month in the lactating group, while the dam was machine-milked. In all farms the calves were permanently with their dam during this period. At the separation, the calves were directly fostered by the nurse cows ($n = 11$) or could go into the artificial milk-feeding phase (whole milk given by the farmer) before fostering ($n = 9$).

The calves that went into the artificial milk-feeding phase stayed less than three days with their dams. The calves were in individual hutches for a week before being in collective hutches for a maximum of a second week. Between two and three litres of milk were given twice a day in teat buckets. The milk given could be non-marketable milk ($n = 3$), milk from the dams ($n = 5$) or milk from the bulk ($n = 1$). Some farmers also used this phase as a buffer to separate the calves early from their dams and get them vigorous enough to suckle their nurse cows. In three farms, the last fostered calf went directly from the dam to the nurse cow without going into the artificial milk-feeding phase.

Calves that were intended for sale were managed as replacement calves, except on farm F20 where future sold calves had an artificial milk-feeding phase while replacement heifers went directly from the dam to the nurse cow. The calves could be sold at 15 days old ($n = 13$), at between 15 days and 3 weeks old ($n = 5$) or at 1 month old ($n = 2$). A third of farmers also kept some of the calves and sold them as veal at between one and five months ($n = 6$), or as beef at two-and-a-half to three years old ($n = 2$).

3.3.2. Fostering process

The nurse cows were chosen by the farmers because of their high milk somatic cell counts, reduced reproduction performance, milking issues or lameness. Other criteria included the maternal character of the cow or some practical reasons such as their needing to calve at the right time or their increased age. Previously, the farmers often opted to have the cows culled at the end of their lactation, but the nurse cow rearing system permitted nurse cows to stay longer on the farm.

A similar age was the main criterion for grouping calves with a nurse cow ($n = 17$). The age difference between calves grouped together with a nurse cow was 3 or 4 days ($n = 6$), 7 days ($n = 5$), 10 days to 3 weeks ($n = 6$) and or even as much as 1.5 months ($n = 3$) depending on the number of foster calves and the duration of the calving season. Sex was another criterion for two farmers who mixed male and female calves because the young calves needed less milk so they could be more numerous and the male calves were sold afterwards. Farmers did not ($n = 15$) or avoided ($n = 4$) having the own calf fostered with its dam to avoid competition or the nurse cow abandoning the other calves.

The fostering process lasted between one and two weeks and was normally systematically carried through in the barn. Farmers allocated between one and five calves per nurse cow (Table 2). The farmers put the all the calves in with the nurse cows at the same time, except from farmer F6, who put the calves in with the nurse cow one by one. Farmers could isolate the nurse cow/calves pair in a pen ($n = 14$), put two or three nurse cows and their calves into the same fostering pen at the same time, depending on where it was located in the barn ($n = 4$) or foster all the calves with all the nurse cows ($n = 2$). No farmer milked the nurse cows. The nurse cows were permanently with the calves ($n = 18$) except for farmers F18, who separated the nurse cow from the calves during the night so that it could graze, and Farmer F6, who turned out to have the only well-fostered calves.

The farmers monitored the fostering twice a day ($n = 13$), two to three times a day ($n = 4$), four times a day (F10) or as often as six to seven times a day (F5 and F19). The fostering pens were located near the milking parlour ($n = 3$), which made it easier to observe the process of fostering. The farmers were primarily concerned that the calves should suckle the nurse cow well ($n = 13$). The behaviour of the

nurse cow was also observed (n = 8) to see, e.g., whether she licked or kicked the calves, raised her head when the farmer came or was healthy. The farmers entered the pen (n = 6) if it was necessary to help the calf suckle or just to bond themselves with the calves.

The farmers assessed the fostering as easy (n = 6), rather easy (n = 10) or not always easy (n = 4). Farmer F12 found that cows that had just calved nursed more easily than cows that had calved long ago. Farmer F8 found that a calf that was too old gave too many head-butts during suckling and the nurse cow refused it. The best age for fostering was one week old because the calf was then vigorous enough to suckle the nurse cow. Blocking the cow at the feed rack and, if necessary, putting on shackles was systematically done by seven farmers or only if needed (n = 8). Less frequently, farmers also used small fostering pens (n = 3), raised the tails of the nurse cows that were kicking (F18), talked to the nurse cows (n = 3) to explain what was happening or to ask them to nurse the calves. Alternatively, they temporarily separated the calves from the nurse cow to make the calves thirsty, and the nurse cow want to be sucked (n = 2). If this was not enough, four farmers changed the nurse cow and put that cow back into the dairy herd.

3.3.3. Pasture phase

Some farmers turned out the animals at the end of fostering without taking into account the weather or the season (n = 16), while others took into account the weather (n = 9) and then the soil bearing capacity (n = 4). Turning out was done once (n = 4) for those with the shortest calving season, once followed by the late calves gradually (n = 2), twice (n = 4) or gradually (n = 10). Calves born at the beginning of the year were turned out from the beginning of March to mid-May. The calves might be 10 or 15 days old, according to 2 farmers. Farmer F3 emphasised that there was no stress during the turnout thanks to the nurse cows' presence. Housing was performed between the end of October and the beginning of January.

Farmers with a seasonal calving system stressed the importance of having an age difference in the group of less than one month (n = 3) or two months (n = 4), while two other farmers mentioned that they could put out to pasture calves that were as young as naught to six months old.

Most farmers went to see the nurse cows once or twice a day (n = 17), whereas farmers F12, F13 and F20 went twice a day at the beginning and then every two to three days. A third of the farmers took this opportunity to feed them. Nearly half of the farmers (n = 8) went into the paddock and tried to bond with the calves and to prevent them from going wild. A quarter of the farmers changed paddock every one or two days to get in contact with the calves a bit better and to prevent gastrointestinal nematodes infections.

3.3.4. Weaning and separation

The weaning and the separation happened at the same time. It could be performed during the grazing season (n = 11) mainly in September or at housing (n = 9), whereas heifers were between 7 and 10 months old. Farmer F12 was thinking that the later the weaning was done, the more natural it was.

The nurse cows and the calves were placed in two different barns or the nurse cows stayed on pasture and the calves were housed in the barn (n = 13). Farmers F10 and F11 housed the calves and the nurse cows for two weeks before weaning, so that the cows could teach the calves how the barn was. Five farmers used one barn only, but without contact between the calves and the nurse cows. Farmers F1 and F12 gradually removed the nurse cows during the grazing season. A third of the farmers (n = 6) left one or two nurse cows at weaning for at least a week with the calves or until the first calving and F9 permitted contact through a fence during the week before weaning. These farmers were very satisfied with it: *'The nurse cow prevents the calves from going out'*; *'The cow teaches them how to reproduce and reassures the heifer during her first calving.'* The farmers found that the weaning was successful.

The majority of the farmers found that the calves mooed for two or three days, but if they left a nurse cow with them, they were quiet. Other calves would moo for two to three hours for a farmer weaning at nine months, or for a week (n = 3) or up to two weeks for a farmer weaning early (n = 1).

3.4. Farmers' perception of this rearing system

All the participating farmers were satisfied with the rearing of the calves with nurse cows and several farmers said that it was a pleasure to rear calves with nurse cows, and they would not go back. The natural aspect, improved animal welfare, lack of stereotyped behaviours, high growth rates and good health were all often emphasised by the farmers interviewed. Farmer F9 also pointed out that this rearing led to a better image of dairy cow farming for the general public. Farmers were also satisfied in this rearing system regarding their work, the dairy cows, the nurse cows and, of course, the calves. Regarding the dairy herd, the rearing calves with nurse cows optimised the milking parlour by removing the cows with high milk somatic cell counts, thus allowing them to sell a high-quality milk and thus be paid for that. The entire farming system could be organised well, such that the group of foster calves with nurse cows went to remote paddocks, allowing the lactating cows to graze on pasture closer to the milking parlour.

Half of the farmers found that this rearing system helped to improve their working conditions. This could be achieved by reducing their workload up to one hour per day. They also emphasised that there had been a change in the nature of their work, which had become more based on trust in the animals and time spent observing them. This system was simpler and required less mechanisation (because of less or no extra feed to harvest or to give), and less routine work (such as bucket washing or carrying heavy milk cans to the calf house; fewer pens to clean).

3.4.1. Will wild calves be a consequence of this system?

Farmers defined 'a wild calf' as a calf that the farmer could not get close to, and that later in life potentially could be difficult to inseminate and milk. The farmers found that their foster calves were not wild (n = 15). Actually, some found that they were calmer than those reared traditionally, and they reported that they could touch the muzzle of most calves (n = 3). Two farmers found it difficult to inseminate their heifers because they were not used to being fixed in the feeding rack. To prevent the calves becoming wild, some farmers created a calf-human bond through nutrition during the artificial milk-feeding phase or by supplementing them on pasture. Other farmers took advantage of the weaning phase to 'replace' the bond with the nurse cow with their own bond. As farmer F16 said: *'I put efforts on animal contacts more on pasture than at fostering. I go to the paddock twice a day, I feed them. Whether they become wild depends on us. Thanks to the care I provide them, the calves are quieter than those reared without nurse cows.'* Farmer F10 supported this: *'I go to visit them every day for 30 minutes. I bring them concentrate feed, I move the electric fence every 2 days and I turnout them on the paddock of 20 acres to avoid the risk that they can't be handled in the barn afterwards.'*

3.4.2. Did the nurse cows teach the calves how to behave?

The farmers mentioned how they had observed the calves being guided and taught to eat or graze by the nurse cows (n = 15) during the fostering period in the barn (n = 2). Four farmers simply summarised this – saying that the cows taught the calves 'everything about life' – while others mentioned specific things like following the pace of the cows (F18 and F20), getting to know the fences and walking on a walkway (F16), or generally seeming to get familiar with the housing and grazing system on the farm (F18). However, some farmers also admitted that they did not really know whether this was due to the nurse cows or whether the calves grazed naturally, by instinct (n = 4) or by copying the nurse cows and not by learning (n = 6). Moreover, four farmers indicated that calves ate very quickly from the first day on pasture.

3.4.3. Is the heifer performance increased?

Seven farmers noticed better growth in the calves reared with nurse cows, and a reduction in age at first calving. The farmers aimed at heifers calving at 24 months (n = 14) or 28 to 30 months old (n = 4), which represents a reduction of two months to a year compared to their former system. Less frequently, the farmers also noticed lower growth rates after weaning (n = 2) and fearing that heifers were too fat for insemination (F15) or that their age at first calving might be due to their precocious breeds (F6).

After their first calving, the farmers found that the heifers which had been reared as calves in the nurse cow system integrated easily into the lactating herd (n = 8); some even felt that they integrated better than the ones reared before (n = 6). Farmers explained this because calves reared with nurse cows were used to being around larger animals, knew the herd codes and mixed more easily with the rest of the dairy herd. However, three farmers did not see any difference between this and the previous system. The farmers explained this partly with the fact that these heifers had been used to being with cows, and to living in groups, so they were already familiar with the social codes of the herd.

3.4.4. How did farmers perceive the disease risks of the calves and the nurse cows?

Before the implementation of this system, more than half of the farmers (n=11) had problems with neonatal diarrhoea caused by *Cryptosporidium*, coccidia, rotavirus or coronavirus. Since establishing the nurse cow system, infectious diarrhoea occurred in only five farms that had some pathogenic diarrhoea. Three farmers reported diarrhoea when the calf was with its dam, and explained it as being caused by intake of too much milk. Gastrointestinal nematodes had been a problem for a third of the farmers before the implementation of the nurse cow rearing. Four of these treated all calves systematically at housing. Since the implementation, only three farmers treated selectively. With regard to dictyocaulosis, two farmers said that they had had infested calves in the past but no longer had any following implementation of this rearing. Farmer F1 wondered if suckling calves might have a curative effect on nurse cows with mastitis.

Farmer F20 said that they had not spent any money on medicines for calves since the system was implemented, and two farmers said that they had seen a decrease in veterinary fees following the rearing system implementation. The vast majority of the farmers (n=18) used phytotherapy as a preventive and/or curative measure. Only four farmers vaccinated against BVD (F7 and F17), diarrhoea (F8) and respiratory disease but only the calves born in autumn (F10).

4. Discussion

We studied the nurse cow–calf rearing system, and explored what motivated the farmers in our sample to implement it. Those farmers emphasised their need for autonomy, cross-breeding, seasonal calving and once-a-day milking. Introducing the nurse cow rearing system was thus part of a continued development towards the organic principles to which they, as certified organic farmers in some way or another, have committed themselves. This system is characterised by the rearing of replacement dairy heifers by a small herd of nurse cows (about 12% of the lactating herd) constituting an additional group on pasture-based farms.

The farmers who implemented this system were confronted with challenges, and the solutions and adaptations were diverse. The optional phase of artificial milk-feeding seemed to be a peculiarity of this system in France and was mainly used as a buffer phase allowing the farmer to collect a group of calves born over a time period. The fostering was facilitated by the farmers with a small fostering pen and a maternal nurse cow in early lactation. Weaning and separation took place when the calves were between 4 and 10 months old; the calves seemed to be quieter when one nurse cow was left among

them, a fact supported by Loberg et al. (2008). Overall, the farmers are very satisfied with this rearing system, which can be implemented to a large variability of grazing farms.

The farmers rearing calves with nurse cows generally had a background that included higher education, which is more than the national average. In total 10% of the farmers in the study had not had a higher education, compared to 76% of French farmers (Forget et al., 2019). Those interviewed still continue to learn and develop via exchange groups and training for farmers, whereas 17% of French farmers undertook at least one training course in 2017 (Forget et al., 2019). This may explain the rapid diffusion of this nurse cow practice through networks, exchange groups and the help of a social environment of organic farmers.

4.1. Can the nurse cow system become part of an agro-ecological transition?

The nurse cow rearing system is often accompanied by other characteristics of the farm: a self-sufficient system based on grazing with as little input as possible, cross-breeding with dairy breeds, milking once per day and seasonal calving. Introduction of the nurse cow rearing system can thus be part of an overall change into a more agro-ecological farming style, although farmers themselves do not use this word. Indeed, agro-ecology provides ecological principles with which to study, design and manage sustainable agro-ecosystems that are productive, economical in inputs, socially just and economically viable (Altieri, 1995).

The farmers surveyed here have a system based on grazing and produce the majority of their own cereals and protein crops, thus enabling them to be self-sufficient in terms of feed and straw for their cattle. In relation to dairy cow farming, agro-ecology takes the form of grazing-based systems that preserve the cultural landscapes linked to the emblematic cattle breeds (Beudou et al., 2017; Vollet et al., 2017). The use of cross-breeding with rustic breeds adapted to local microclimatic conditions is also part of an agro-ecological approach (Dumont et al., 2013). Herd management is adapted to the needs of the animals and resources by grouping seasonal calving. In these agro-ecological farms, the priority was to feed the herd at the lowest cost (Dumont et al., 2013).

The self-sufficiency of agro-ecological farms that produce enough to satisfy their own needs allows for recycling farm waste, reducing inputs and increasing the added value of products created on the farm (Dumont et al., 2013; Wezel and Peeters, 2014) with sometimes on-farm processing providing extra income for farmers (Dumont et al., 2013). A third of the farmers mentioned nurse cow rearing as economically profitable, even though more adult cows need to be cared for. Several components contribute to that: reduced veterinary fees; a shorter indoor period; a shorter duration of heifer rearing; and valorisation of the bulk milk due to the fact that the nurse cows, removed from the lactating herd, often have high milk somatic cell counts. The number and the duration of unproductive animals, i.e. replacement heifers, can also be reduced. In fact, increasing the longevity of the cows in the herd makes it possible to reduce the herd's renewal rate and thus the number of replacement heifers. This rearing system makes it possible to have early calvings, which means that unproductive heifers can be produced over a shorter period of time. However, the biggest saving for these farmers is probably linked to the autonomous management of this system with low-input purchases based on grazing and the possible valorisation of the processed product on the farm or through direct sales (on-farm market). Agro-ecological dairy farming systems based on grazing were also shown to be economical in a study carried out in our geographic area (Dumont et al., 2013). This study shows that the lower milk sales and moderate decrease in productivity (measured in l of milk/ha of forage area) of these agro-ecological farms was largely offset by the overall reduction in input costs, including feed costs, which fell by almost half, and mechanisation expenses (Dumont et al., 2013). Farmers in our study mainly group the calving season, which comes at the end of winter, with the growth of the grass.

Calves were turned out early because farmers trusted the nutritional and protective role of the nurse cows. This was a contrast to most organically reared calves with a turnout age ranging from 7 to 14 months (Merlin et al., 2017). The calves in this study stayed with the nurse cows for a long first grazing season, as in organic farms in the same area, which average 210 days (Merlin et al., 2017).

Agro-ecological systems and products also require rethinking current supply chains and identifying niche markets compatible with the characteristics of agro-ecological products (Altieri and Nicholls, 2001). This can also be seen in the area under study with the creation of an 'ethical' calf sector. Ethical calves sector is very new and consist in rearing mainly male calves with their dam or a nurse cow and stay in the farm until 8 months. They aim to cull the calves in a mobile slaughterhouse truck that comes to the farm. The farmer is no longer a simple executor of a ready-to-use solution; he is led to think about reinventing his profession (Dumont et al., 2013), as the farmers in this study did by setting up the nurse cow rearing system, which is thus part of a global approach.

4.2. Calves' and nurse cows' behaviour and learning

The bonding phase between the nurse cow and the foster calves seemed to be the biggest challenge in the nurse cow system, yet critical to its success, according to the interviewed farmers. Similar challenges were identified by Johnsen and co-authors (2016). Krohn (2001) also described this phase as crucial, because the calves were at risk of malnourishment if rejected undiscovered. The farmers studied found solutions and, after they implemented them, the fostering phase was no longer a challenge. The bond is both nutritional and social; it also encompasses social learning and exchange of affiliative behaviours (Newberry and Swanson, 2008) such as licking, sniffing and vocalisations directed towards the calf, nursing the calf and a stress response to separation from the calf (Sirovnik et al., 2020). The farmers in the study described all these behaviours in the calves and their nurse cows, which suggests that the bond between the calves and the nurse cow seems to be close to a maternal bond, as also previously described (Kent, 1984; Krohn, 2001). Nursing and suckling are suggested to stimulate physiological processes that create bonds and stimulate maternal behaviours (Johnsen et al., 2016). Some systems combine dam–calf rearing with a nurse cow system, pointing to the fact that foster calves in such systems often receive less in the way of maternal behaviour from the cow compared to the cow's own calf (Sirovnik et al., 2020; Vaarst et al., 2020), and the nurse cow may often show preference for one or two specific calves (Loberg, 2008; Johnsen et al., 2016). However, to prevent nurse cows from abandoning calves, the farmers in this study did not foster a calf with its own dam.

The nurse cow–calf rearing system therefore seems to stimulate calves to bond to the nurse cow and perform social behaviour with the other calves. It allows them to express the natural behaviours of their species (suckling, social, community life), learning from the nurse cows and a long first grazing season from an early age as well as late weaning. All of this is as close as possible to a natural situation for the calf. Natural rearing conditions offer a high degree of welfare (Krohn, 2001). In this study, weaning took place at the same time as the separation of the nurse cow at around 9 months, which is close to the natural weaning age of 8 to 11 months (Reinhardt and Reinhardt, 1981). This age was older than in the dam rearing system (Krohn, 2001; Michaud et al., 2018; Vaarst et al., 2020). This reduces the response to stress (Johnsen et al., 2018). Some interviewed farmers left one or two nurse cows to stay with the calves after separation. Weaning in two stages, recommended by Johnsen and co-authors (2016), reduces the behavioural reaction with less vocalisation at weaning. Calf welfare, including aspects of more 'natural' rearing and ethical aspects, was an important argument for the farmers in this and other studies (Michaud et al., 2018; Vaarst et al., 2020). None of the farmers in the study mentioned stereotypical calf behaviours, as highlighted by Johnsen and co-authors (2016). In unrestricted cow–calf contact systems, as in this study, calves can choose the frequency and size of

meals, to fit their physiological and behavioural needs (Loberg and Lidfors, 2001; Johnsen et al., 2016). Calves that are allowed to suckle freely from their dam or nurse cow drink more milk and more frequently than those fed artificially (Langhout and Wagenaar, 2006; Grøndahl et al., 2007). Drinking from a cow's udder is also more natural than drinking from a teat bucket or directly from a floor bucket. Calves reared with the dam were found to be more socially active (Vaarst et al., 2001) and showed more social behaviour and explored their environment more than classically reared calves (Kälber and Barth, 2014). Calves can also synchronize their activity such as grazing, ruminating, and resting together, which corresponds to the natural behaviour of cattle (Vaarst et al., 2020).

Farmers in this study were aware of the risk that the calves could become difficult to handle, as has already been mentioned in relation to dam nurse cow rearing systems (Johnson et al., 2016; Vaarst et al., 2020). However, the farmers in this study spent a lot of time during fostering or while the calves were on pasture preventing this. It wasn't a difficulty for them.

The farmers in this study mentioned that the nurse cows seemed to teach the calves e.g. to graze and eat fodder early or about the fence, which may have made them more confident to explore their surroundings (Krohn, 2001; Vaarst et al., 2020). The dam is the primary social model for the young animals, although dominant conspecifics also play an important role concerning grazing behaviour and feed selection (Hessle, 2009).

After their first calving, calves reared with nurse cows integrated well into the lactating cows group and the introduction into it seemed to be less stressful in the farmers' experience. In contrast, without a cow-calf contact system, the introduction to a group of lactating cows following the first calving is very stressful (increased responsiveness to stress; Duve et al., 2012) and about five days of habituation is needed (Kälber and Barth, 2014).

4.3. Impact on the calves' and the nurse cows' performance

Improved calf health was one of the most cited motivations for implementing a nurse cow system in both this and another French study (Michaud et al., 2018). Some interviewed farmers noticed a decrease in their veterinary costs, and other studies reported similar observations in cow-calf contact systems (Michaud et al., 2018; Vaarst et al., 2020). In particular, farmers have experienced that neonatal diarrhoea decreased in nurse cow systems in French and Dutch studies (Wagenaar and Langhout, 2007; Michaud et al., 2018; Constancis et al., 2020). Regarding gastrointestinal nematodes on pastures, calves were infected to a lesser extent due to a 'diluting effect' by the nurse grazing (Constancis et al., 2020b).

Farmers in the study reported higher growth rates in calves reared with nurse cows than in those that were bucket fed, which was in accordance with other studies (Krohn, 2001; Wagenaar and Langhout, 2007; Constancis et al., 2020b). This high growth rate allowed for an earlier first insemination, leading to earlier first calvings. This was similar to what was found by Langhout and Wagenaar (2006) and Johnsen and co-authors (2016). Some studies on dam-reared heifers showed that, later, the conception rates at first insemination were higher. The insemination index (i.e. the number of inseminations divided by the number of cows bred) was lower, and the calving interval was shorter for cows that had been dam reared (Johnsen et al., 2016). Furthermore, some studies have suggested that an early high milk intake leads to higher milk production in the first lactation (Shamay et al., 2005; Johnsen et al., 2016).

Some farmers in the study reported that the nurse cows were too thin at weaning, as also shown by Constancis and co-authors (2020a). Farmers also found it difficult to inseminate the nurse cows, with there being an increased interval between calvings (Krohn 2001), which could maybe be explained by

their high milk production (Friggens and Newbol, 2007; Pryce et al., 2009). The farmers in our study responded to this challenge, e.g. through providing more feed, allocating fewer calves to each nurse cow or using more robust breeds. Some farmers chose to use nurse cows that were already pregnant for fostering.

4.4. Farmers' considerations regarding selection of nurse cows

The nurse cows in this study were mainly chosen from among those with a high milk somatic cell count, which seems quite similar to what was found in other studies (Wagenaar and Langhout, 2007). It contributes to decreasing the bulk milk somatic cell count (Kälber and Barth, 2014). Suckling by calves can have a positive impact on cow udder health. Indeed, studies have observed a curative effect due to frequent emptying of the udder (Krohn, 2001; de Passillé et al., 2008) and a preventive effect during the suckling period (Pomiès et al., 2010; Johnsen et al., 2016), even though there is a potential risk of cross-contamination due to calves suckling several nurse cows (Wagenaar and Langhout, 2007). Feeding calves with milk from cows infected by *S. aureus* had no subsequent effect on udder health at the first calving of heifers that were fed this milk (Abb-Schwedler et al., 2014). Lameness was also mentioned by the farmers as a selection criterion for a nurse cow. This rearing system could have a curative effect on lameness, explained by the fact that the nurse cows stay in the pasture (Hernandez-Mendo et al., 2007) without having to walk to the milking parlour twice a day.

Some of the interviewed farmers would prefer to select nurse cows based on their maternal behaviour as recommended by Wagenaar and Langhout (2007) because it supports the 'natural aspect' of the system. The maternal behaviour of the cow is more important in determining its ability to accept calves than its lactation stage (Loberg and Lidfors, 2001). However, the farmers in this study found that a newly calved cow more easily fostered calves and produced sufficient amounts of sufficient-quality milk.

4.5. Farmers' working conditions

Working conditions in terms of physical and mental workloads as well as working hours are central to dairy farmers, who generally work long hours (Forget et al., 2019). In this study, the farmers highlighted that working conditions were improved through the nurse cow system, which was one of the motivations for implementing and keeping it. Similar experience was found in the study by Michaud and co-authors (2018), who pointed to reduced work-time and/or improved quality of work-time. Farmers with a dam rearing system highlighted the need to rethink time and effort rather than save time and work (Vaarst et al., 2020). A dam rearing system can be labour-intensive, depending on how it is managed (Johnsen et al., 2016). However, as mentioned by the farmers in this study, the nurse cow rearing system requires less labour-intensive work such as carrying milk cans to feed the calves, strawing and cleaning calf pens, or spending time on caring for sick calves. The work of monitoring the calves and the nurse cows was found to be essential for the success of this rearing system. As Vaarst and co-authors (2020) emphasised, the cow-calf contact system is based on confidence and trust in calves' and cows' abilities. This study emphasised that humans need to rely on their ability to observe and judge complex situations, in contrast to giving the calves exactly the same amount of milk of a specific temperature at the same times every day, as is the case in a calf system, in which calves are kept in pens and bucket fed (Vaarst et al., 2020).

4.6. Methodological considerations

The aim of the present study was to reveal and examine farmers' perceptions of and experiences with the nurse cow rearing system. This study was carried out in a specific geographical area with a small number of farmers who all developed the system in their different farming contexts over recent years.

The concept of the nurse cow system can be expected to be further adjusted and developed; it is currently receiving a lot of interest, in terms of new farmers taking it up. This study also has a bias in that only farmers who practise this rearing system were studied. It would have been interesting to interview farmers who have stopped using this rearing system, to ask them why. In a survey conducted in France, eight farmers (7%) stopped this practice because of poorly adapted buildings, as well as possible transmission of pathogens due to inter-sucking (Michaud et al., 2018).

Generalisation of the qualitative research results is not recommendable, and should be done with care, as the results are obtained from persons with a specific context and specific experiences that need to be understood (Malterud, 2001). As such, this system can be viewed as an innovation that came about in a 'bottom-up' way and was adopted by 'innovators' (Rogers, 2003) with fewer than 2.5% of dairy farmers constituting the fringe of pioneers. Through context-specific adjustments and developments, it appears to be diversifying in many different ways and is still sustainable on the farms where it was implemented.

5. Conclusion

The nurse cow system, as it has been set up by a group of French farmers, allows calves to have a long and early first grazing season, in the constant presence of nurse cows, and a close-to-naturally late weaning. According to the farmers, this system seems to allow calves to learn from the nurse cows and enables social behaviours that are close to the natural situation, offering calves a high degree of welfare. Calves reared with nurse cows appear to have fewer disease challenges, such as neonatal diarrhoea, and low infestation of gastrointestinal nematodes. Their high growth rate allows for an early first calving. This system increases the longevity of the nurse cows and has a potentially curative effect on mastitis and lameness. The farmers generally found that the nurse cow system improves their working conditions and their bond with the calves through regular monitoring and contact. All their experiences motivated the farmers to keep developing the nurse cow rearing system on their farm and to promote it and inspire others to adopt it. It would also be interesting to carry out studies to assess the diffusion of this rearing and the real impacts on the farmer, the calf and the nurse cow. This rearing system is often combined with seasonal calving periods, cross-breeding of robust breeds and once-a-day milking. In this combination, the nurse cow rearing system in organic dairy farms can be seen as part of the agro-ecological transition that is gradually allowing farmed animals to meet their natural needs to a higher degree than before.

Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Author Contributions

CC, FL, and MV contributed to study design. CC acquired and analysed the data, and wrote the first draft of the manuscript. FL and MV supervised the analysis. FL, NB and MV revised the manuscript.

Acknowledgments

CC is a grateful recipient of a grant from the Pays de la Loire Region and the INRAE (French national research institute for agriculture, food and environment). This study was funded by the GrazyDaisy project (H2020 ERA-net project, CORE organic Cofund). The authors sincerely thank the dairy farmers who participated in this study.

References

Abb-Schwedler, K., Maeschli, A., Boss, R., Graber, H. U., Steiner, A., and Klocke, P. (2014). Feeding

- mastitis milk to organic dairy calves: Effect on health and performance during suckling and on udder health at first calving. *BMC Vet. Res.* 10, 1–11. doi:10.1186/s12917-014-0267-7.
- Agenäs, S. (2017). Editorial: We need to bring the calves back to the dairy cows. *J. of Dairy Research*, 84, 239. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000346>
- Altieri, M.A. 1995. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Altieri, M., Nicholls, C. (2001). "Ecological Impacts of Modern Agriculture in the United States and Latin America". in *Globalization and the Rural Environment* 123-137.
- Beudou J., Martin G. and Ryschawy J. (2017). Cultural and territorial vitality services play a key role in livestock agroecological transition in France. *Agronomy for Sustainable Development* 37-36.
- Charmaz, K. (2014). *Constructing Grounded Theory*, second ed. SAGE Publications Ltd., London.
- Constancis, C., Chartier, C., Bernard, M., Lehebel, A., Brisseau, N., Chauvin, A., Bareille, N., Ravinet R. (2020a). Parasitisme et performances zootechniques des veaux laitiers conduits avec des vaches nourrices en Agriculture Biologique. *Renc. Rech. Ruminants*. 25, 497–501.
- Constancis, C., Hellec, F., Brunet, L., Brisseau, N., Lehébel, A., Chauvin, A., Bareille, N., Chartier, C., Ravinet R. (2020b). Performance and health status of dairy calves reared with nurse cows, a 2-year study involving 3 cohorts. *IAHA Video-Conference on Organic Animal Husbandry*. 39–43.
- Constancis, C., Ravinet, N., Bernard, M., Lehebel, A., Brisseau, N., and Chartier, C. (2021). Rearing system with nurse cows and risk factors for *Cryptosporidium* infection in organic dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 190, 105321. doi:10.1016/j.prevetmed.2021.105321.
- de Passillé, A.M., Marnet, P.G., Lapierre H., and Rushen J. (2008). Effects of twice-daily nursing on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91,1416–1422.
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., and Tichit, M. (2013). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7, 1028–1043. doi:10.1017/S1751731112002418.
- Duve, L.R., Weary, D.M., Halekoh, U., Jensen, M.B. (2012). The effects of social contact and milk allowance on responses to handling, play, and social behavior in young dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95, 6571–6581
- Forget, V., Depeyrot, J.N., Mahé, M., E. Midler, Hugonnet, M., Beaujeu R., Grandjean A., Hérault B. (2019). *Actif ' Agri Transformations des emplois et des activités en agriculture.* , ed. Centre d'études et de prospective, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, la Documentation française, Paris.
- Friggens, N.C., and Newbold, J.R. (2007). Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning: the dairy cow as an example. *Animal*. 1, 87-97.
- Grøndahl, A.M., Skancke, E.M., Mejdell, C.M., and Jansen, J.H. (2007). Growth rate, health and welfare in a dairy herd with natural suckling until 6-8 weeks of age: A case report. *Acta Vet. Scand.* 49, 1–5. doi:10.1186/1751-0147-49-16.
- Hernandez-Mendo, O., Von Keyserlingk, M.A.G., Veira, D.M., and Weary, D.M. (2007). Effects of pasture on lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1209–1214. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71608-9.

- Hessle, S. (2009), Editorial. *International Journal of Social Welfare*, 18, 223-224. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2397.2009.00674>.
- IFOAM (2005) The four principles of organic agriculture [online]. Retrieved from <<https://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/principles-organic-agriculture>> [at 13 Apr 2021]
- Johnsen, J.F., Mejdell, C.M., Beaver, A., de Passillé, A.M., Rushen, J., and Weary, D.M. (2018). Behavioural responses to cow-calf separation: The effect of nutritional dependence. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 201, 1–6. doi:10.1016/j.applanim.2017.12.009.
- Johnsen, J.F., Zipp, K.A., Kälber, T., de Passillé, A.M., Knierim, U., Barth, K., and Mejdell, C.M. (2016). Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms?—Current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1–11. doi:10.1016/j.applanim.2015.11.011.
- Kälber, T., and Barth, K. (2014). Practical implications of suckling systems for dairy calves in organic production systems - A review. *Landbauforsch. Volkenrode* 64, 45–58.
- Kent, J.P. (1984). A note on multiple fostering of calves on to nurse cows at a few days post-partum. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 12, 183–186. doi:10.1016/0168-1591(84)90108-4.
- Krohn, C.C. (2001). Effects of different suckling systems on milk production, udder health, reproduction, calf growth and some behavioural aspects in high producing dairy cows - A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 271–280. doi:10.1016/S0168-1591(01)00117-4.
- Langhout, J., and Wagenaar, J.P. (2006). Suckling, a natural calf rearing system for organic dairy farms. *Joint Organic Congress, Odense, Denmark, May 30-31, 2006*
- Loberg, J., Hernandez, C.E., Thierfelder, T., Jensen, M.B., Berg, C., and Lidfors, L. (2008). Weaning and separation in two steps-A way to decrease stress in dairy calves suckled by foster cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 222–234. doi:10.1016/j.applanim.2007.06.011.
- Loberg, J., and Lidfors, L. (2001). Effect of stage of lactation and breed on dairy cows' acceptance of foster calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 74, 97–108. doi:10.1016/S0168-1591(01)00157-5.
- Malterud, K., (2001). Qualitative research: standards, challenges, and guidelines. *Lancet* 358, 483–488. doi:10.1016/S0140-6736(01)05627-6
- Marley, C.L., Weller, R.F., Neale, M., Main, D.C.J., Roderick, S., and Keatinge, R. (2010). Aligning health and welfare principles and practice in organic dairy systems: A review. *Animal* 4, 259–271. doi:10.1017/S1751731109991066.
- Merlin, A., Ravinet, N., Madouasse, A., Bareille, N., Chauvin, A., and Chartier, C. (2017). Mid-season targeted selective anthelmintic treatment based on flexible weight gain threshold for nematode infection control in dairy calves. *Animal* 12, 1030–1040. doi:10.1017/S1751731117002312.
- Michaud, A., Clazier, A., Bec, H., Chassaing, C., Disenhaus, C., Drulhe, T., Martin, B., Pomiès, D., Le Cozler, Y. (2018). Déléguer l'allaitement des veaux laitiers aux vaches ? Résultats d'enquêtes auprès des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants*, 66–69.
- Newberry R.C., Swanson J.C. (2008) Implications of breaking mother-young social bonds. *Appl Anim Behav Sci* 110(1–2):3-23, doi:10.1016/j.ap-planim.2007.03.021
- Pailler, I. (2013) Faciliter l'élevage collectif des génisses. *Terra* 434. 34-35.
- Pomiès, D., Caré, S., Veissier, I., Monts, U.E., Orcival, F., and Care, S. (2010). Monotraite combinée à

- l'allaitement chez les vaches Prim'Holstein. *Renc. Rech. Ruminants*, 233–236.
- Pryce, J., Harris, B., Bryant, J., Montgomerie, W., Klopčič, M., Reents, R., Philipsson, J., and Kuipers, A., (2009). "Do robust dairy cows already exist?" In *Breeding for robustness in cattle*. eds. M Klopčič, R Reents, J Philipsson and A Kuipers, 99-112
- Reinhardt, V., and Reinhardt, A. (1981). Natural sucking performance and age of weaning in zebu cattle (*Bos indicus*). *J. Agric. Sci.* 96, 309–312. doi:10.1017/S0021859600066089.
- Rogers, E.M. (2003) *Diffusion of Innovations*, 5th Edition Ed Free Press
- Shamay, A., Werner, D., Moallem, U., Barash, H., and Bruckental, I. (2005). Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 88, 1460–1469. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72814-9.
- Sirovnik, J., Barth, K., Oliveira, D. De, Ferneborg, S., Haskell, M. J., Hillmann, E., Jensen, M.B., Mejdell, C.M., Napolitano, F., Vaarst, M., Verwer C.M., Waiblinger, S., Zipp, K.A. and Johnsen, J.F. (2020). Methodological terminology and definitions for research and discussion of cow-calf contact systems. *J. of Dairy Research*. 87 (S1):1-7. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000564>
- Vaarst, M., and Alrøe, H.F. (2012). Concepts of animal health and welfare in organic livestock systems. *J. Agric. Environ. Ethics* 25, 333–347. doi:10.1007/s10806-011-9314-6.
- Vaarst, M., Hellec, F., Verwer, C., Johanssen, J.R.E., and Sørheim, K. (2020). Cow calf contact in dairy herds viewed from the perspectives of calves , cows , humans and the farming system . Farmers' perceptions and experiences related to dam-rearing systems. 70, 49–57. doi:10.3220/LBF1596195636000.
- Vaarst, M., Jensen, M.B., and Sandager, A.M. (2001). Behaviour of calves at introduction to nurse cows after the colostrum period. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 27–33. doi:10.1016/S0168-1591(01)00120-4.
- Veissier, I., Caré, S., and Pomiès, D. (2013). Suckling, weaning, and the development of oral behaviours in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 147, 11–18. doi:10.1016/j.applanim.2013.05.002.
- Vollet, D., Huguenin-Elie, O., Martin, B., and Dumont, B. (2017). La diversité des services rendus par les territoires d'élevage herbagers fournissant des produits de qualité dans des environnements préservés. *INRA Productions Animales* 30, 333–350.
- von Keyserlingk, M.A.G., and Weary, D.M. (2007). Maternal behavior in cattle. *Hormones and Behavior*, 52(1), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.015>
- Wagenaar, J.P., and Langhout, J. (2007). Practical implications of increasing "natural living" through suckling systems in organic dairy calf rearing. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 54, 375–386. doi:10.1016/S1573-5214(07)80010-8.
- Weary, D.M., and Chua, B. (2000). Effects of early separation on the dairy cow and calf: 1. Separation at 6 h, 1 day and 4 days after birth. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 177–188.
- Wezel, A., and Peeters, A. (2014). Agroecology and herbivore farming systems—principles and practices. *Options Méditerranéennes* 109, 753-767.

Chapitre 3 : Rearing system with nurse cows and risk factors for *Cryptosporidium* infection in organic dairy calves

(Article 2)

Publié dans *Preventive Veterinary Medicine*



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Preventive Veterinary Medicine

journal homepage: www.elsevier.com/locate/prevetmed

Rearing system with nurse cows and risk factors for *Cryptosporidium* infection in organic dairy calves

C. Constancis*, N. Ravinet, M. Bernard, A. Lehebel, N. Brisseau, C. Chartier

INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44300, Nantes, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Dairy calves
Nurse cows
Cow-calf contact
Cryptosporidium
Risk factors organic farming

ABSTRACT

Rearing dairy calves with nurse cows has been increasingly adopted by French farmers especially in organic farming and is characterized by a fostering of two to four calves during the first month of life by an un milked lactating cow. This type of rearing remains poorly documented regarding its impact on calf health, such as cryptosporidiosis. The objectives of our study were to describe practices related to rearing dairy calves with nurse cows and to evaluate the prevalence, intensity and risk factors for *Cryptosporidium* infection in calf neonates. Between January and September 2019, the rearing practices of calves were described in 20 organic French farms and faeces were sampled once from 611 animals aged between 5 and 21 days. *Cryptosporidium* oocyst shedding was identified by modified Ziehl-Neelsen technique and scored semi-quantitatively (score 0–4). The risk of excretion (score 0 versus 1–4) was analysed using multivariate logistic regression models.

This cow-calf rearing system usually consisted of a first phase with the dam, followed by an optional phase of artificial milk feeding (calves being fed with whole milk of the farm) and a final phase of fostering by a nurse cow. Each nurse was suckled from one to five calves of close age with a fostering age of 8 days on average. The oocyst shedding prevalence was 40.2 % and similar to classically reared calves, but the intensity of shedding and the prevalence of diarrhoea appeared to be lower. The identified six risk factors for oocyst shedding were: born in the last two thirds of the birth order, born between January and July *versus* August and September, calf with its dam in the barn *versus* on pasture, having an artificial milk feeding phase *versus* being with the dam only, and contact between peer calves and notably the presence of an oocyst excretory calf fostered by the same nurse. These results emphasize the role of the environment for the direct and indirect contamination, particularly that related to the accumulation of oocysts from previous or peer calves facilitating the faecal-oral route of transmission. This highlights the crucial role of the premises used intensively during the winter and spring months with higher densities of calves in the barn compared to outdoor situations promoted by this rearing.

1. Introduction

In organic farming, rearing of dairy calves classically consists of separating the calves from their dam within 24 h after birth and managing them in individual pens first (until they are 7 days old) and then in collective pens with outdoor access. They must be fed with whole milk from the farm until they are 3 months old before weaning and turn-out. In this system, the calves do not meet adult cows before their first calving. However, some farmers increasingly develop by themselves the rearing of dairy calves with adult cows (dam or nurse) allowing extended contacts between calves and adult cows, particularly in organic agriculture (Johnsen et al., 2016; Krohn, 2001). Among the

different cow-calf systems used in practice, the nurse cow system is considered as the most attractive for implementation in practice when dam rearing is not feasible (Johnsen et al., 2016). The nurse cow system is the most widespread among cow-calf systems in France: out of 46 farms practicing the cow-calf system, 37 of them reared their replacement heifers with nurse cows according to Michaud et al. (2018). However, precise data regarding the different rearing phases, their duration and location (barn, pasture) are still missing.

When dairy calves are reared with nurse cows, they benefit from a rich social rearing environment, adopt a natural suckling behaviour and are stimulated to eat according to their physiological needs (frequency and size of meals) compared to artificial calf rearing systems (Krohn,

* Corresponding author. Postal address: ONIRIS – Parasitologie, Caroline Constancis, Groupe 4 – 1^{er} étage, Atlanpole – La Chantrerie PB 40706, 44 307 Nantes CEDEX 3, France.

E-mail address: caroline.constancis@oniris-nantes.fr (C. Constancis).

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105321>

Received 19 October 2020; Received in revised form 23 February 2021; Accepted 2 March 2021

Available online 4 March 2021

0167-5877/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

2001; Langhout and Wagenaar, 2004; Vaarst et al., 2001). This could explain the better growth of up to 1.08 kg per day during the first 3 months of life of suckled calves compared to 0.66 kg per day for bucket-fed calves (Wagenaar and Langhout, 2007). The potential benefit in terms of calf health is less documented although previous surveys have reported a lower frequency of neonatal diarrhoea in dairy calves reared with nurse cows or their dam compared to classically reared calves (Michaud et al., 2018; Wagenaar and Langhout, 2007; Weary and Chua, 2000).

Cryptosporidium is one of the most common enteropathogens causing diarrhoea in calves during their first three weeks of age (Trotz-Williams et al., 2007). Clinical infection in calves is characterized by yellowish diarrhoea with dehydration, anorexia and acidosis. Infections in calves less than 8 weeks of age are caused mainly by *C. parvum* (Fayer et al., 2006; Rieux et al., 2013; Santín et al., 2004). Infection occurs via the faecal-oral route directly via the ingestion of faeces or indirectly via the contaminated food or environment (Urie et al., 2018). *Cryptosporidium* oocysts are highly resistant in the environment and can survive for long periods, particularly in moist environments (Olson et al., 2004). Cryptosporidiosis is a multifactorial disease and many risk factors related to calves, environment and production practices may be of significance (Delafosse et al., 2015). Previous studies have indicated that cryptosporidiosis may occur more frequently in dairy calves than in beef calves because the formers are born throughout the year and are confined to pens or hutches, which can facilitate a high level of year-round transmission (Olson et al., 2004). The epidemiology of cryptosporidiosis is thus largely based on calf rearing practices. As the rearing of dairy calves with nurse cows is characterized by a longer presence of an adult cow and by changes in feeding and housing, we can hypothesize that suckling system with nurse cows may induce significant changes in calves *Cryptosporidium* infection dynamics. In addition to a description of the rearing system, this cross-sectional study aimed to evaluate the prevalence, intensity and risk factors of *Cryptosporidium* infection associated

with this new rearing system.

2. Materials and methods

2.1. Recruitment of dairy herds and data collection

From a list of commercial organic dairy farms rearing calves with nurse cows (n = 32) obtained from several professional organisations (Organic Farmers Associations, vet practitioners, livestock advisers, etc...), farms were selected according to the following criteria: location (radius of 200 km around our laboratory in the National college of veterinary medicine, food science and engineering, Oniris), and willingness of the farmers to participate to the study. As a result, a convenient sample of 19 farms located in the major dairy cattle breeding area of France (North western France: Brittany, Normandy, Pays-de-Loire) was selected and completed by an additional experimental farm (INRAE) located in eastern France. Finally, the farm study sample was characterized by a large diversity in dairy herd sizes, calving periods, number of calves reared by nurse cows, and number of replacement calves (Table 1).

Each farm was visited once at the beginning of the study to collect general information on the calf rearing methods both for replacement and non-replacement calves. Then, a detailed follow-up sheet was given to farmers to be fulfilled for each calf gradually during the calf rearing period, including information regarding birth, dam, nurse and the different steps of the rearing phase.

2.2. Faecal sampling and analysis

Between January and September 2019, faeces were sampled by the farmer once from each calf between 5 and 21 days of age corresponding to the maximum probability of excretion according to Trotz-Williams et al. (2007) (n = 611, 9–65 calves per farm). At the time of sampling,

Table 1
Characteristics of the 20 organic dairy cattle farms included in the study.

N° Farm	Foster cow implementation date	Number of milking cows	Estimated milk production (L/cow)	Calving periods	Number of fostered calves included in the study *	Number of nurse cows fostering calves included in the study	Number of calves per nurse (min-max)
1	2013	70–75	4500 to 5000	January to September	10	6	2–3
2	2014	65	4000	February to April	24	9	2–4
3	2017	55–60	4100	January to July	17	14	1–3
4	2016	40	4000 to 4500	March to May	29	11	1–5
5	2018	120	8500 to 9000	January to June	6	3	2–3
6	2017	100	4500 to 5000	February and May to June	12	5	1–3
7	2017	35–45	5500	February to April	2	1	2
8	2016	70	7600	February to June and September	35	15	1–5
9	2016	100	3000 to 4000	February to May	19	7	2–4
10	2015	85	7800 to 8000	February to April and August to September	21	13	2–4
11	2018	100	4500	February to May and August to September	35	14	1–5
12	2013	50	3500	February to May and August to September	16	6	2–4
13	2017	38	6000 to 7000	January to August	6	6	1–3
14	2018	50	3700	February to April and June	7	4	1–3
15	2015	75–80	6000 to 7000	January to August	7	5	2
16	2015	60–65	5 000	February to March and July to September	21	7	1–3
17	2013	65	3500	January to May and August and September	22	13	1–2
18	2016	70	5000	February to July	17	7	2–3
19	2017	65	4500	March to June	9	5	3–4
20	2017	55–60	6000 to 6500	July to August	16	7	2–3

* Fostered calves could be assigned to the herd renewal or sold.

calves could be: still with their dam, already fostered, or artificially milk fed (an optional phase before fostering). All calves were sampled (replacement and non-replacement calves). Samples were taken directly in the rectum using plastic gloves, kept in a plastic jar at 4 °C and sent to the laboratory. Calves were sampled with respect for animal welfare and without causing stress, according to the Oniris Veterinary Clinical and Epidemiological Research Ethics Committee (CERVO-2018-9-V).

Cryptosporidium oocysts were detected by staining the faecal smears with Ziehl-Neelsen technique modified by Henriksen and Pohlenz (1981): carbol fuchsin, bleached with sulphuric acid and recoloured with Malachite green and then observed under the microscope at 1000X magnification. It has been shown that semi-quantitative scoring using stained faecal smear methods can be reliably used to grossly quantify oocyst output in calf faeces samples (Chartier et al., 2013). Thus, the intensity of excretion was evaluated semi-quantitatively according to the average number of oocysts observed on 20 randomly selected microscope's fields. Thus, a score, based on 5 categories (0–4), was assigned to each faecal sample according to the average number of oocysts per field: 0 (no oocyst), 1 (<1 oocyst), 2 (1 to <5 oocysts), 3 (5 to <10 oocysts) and 4 (>10 oocysts) (Castro-Hermida et al., 2004). Moreover, the faecal samples were classified according to their consistency (diarrheic, non-diarrheic). The samples classified as diarrheic were further tested using a rapid immunochromatographic strip test (Speed V-Diar 4®, Virbac BVT, La Seyne-sur-Mer, France) to detect the presence of Coronavirus, Rotavirus and *Escherichia coli* F5 (K99).

2.3. Statistical analysis

To carry out the risk factor analysis, the outcome variable representing the shedding of *Cryptosporidium* oocysts was coded as a dichotomous variable representing the positive (score ≥ 1) or negative (score = 0) status of each faecal sample. The analyses were performed using R software version 3.5.3 (R Foundation for Statistical Computing).

2.3.1. Statistical analyses including all the sampled calves (fostered or not)

In a first dataset including all the sampled calves ($n = 611$), all factors investigated were categorical variables collected at the individual level: dam parity (1, 2, 3 and more), birth order in each herd (1st, 2nd, 3rd third) and month of birth, age, sex, breed (dairy crossbred, beef crossbred, pure dairy breed), problem at calving (yes, no), calf rearing phases before sampling (i.e. the different rearing phases that the calf already went through at the time of calving : dam only, dam and artificial feeding, dam and fostering, dam and artificial feeding and fostering), location at each rearing phase (barn, pasture), contact with peer calves, age of the youngest and oldest calf in the same location if any (i.e. calves in contact in collective artificial milking or/and fostering). All these factors were considered as potential predictors of risk for shedding *Cryptosporidium* oocysts by calves.

Mixed effect logistic regression models were used with farm as random effect (lme4 package). The factors were first tested in univariate analysis and those associated with the outcome variable in the univariate models (P -value < 0.20) were selected for the multivariate analysis. Collinearity between selected variables was checked by the calculation of the variance inflation factor (VIF). The variables with a VIF more than 5 were excluded from the model. All the remaining variables were included in a multivariate model and then chosen by backward stepwise selection (P -value ≤ 0.05). The presence of confounders was investigated by verifying that the estimates were not changed by more than 20 % when a variable was withdrawn from the model. The final model had the smallest AIC (Akaike Information Criterion). An odds ratio (OR) and a 95 % confidence interval (CI95 %) were calculated for each factor.

Lastly, in order to take into account the management of the calves in its entirety (not only factor by factor), groups of calves were defined according to all factors identified in the final multivariate analysis with a multiple correspondence analysis (MCA) followed by a hierarchical cluster analysis (HCA) on principal component. HCA permitted to

identify homogeneous groups of calves in the dataset including all calves. The distance used was the Euclidian distance and Ward method was selected as aggregation algorithm. A k-means algorithm was used to consolidate the result. Final partition was selected in order to obtain groups with low inertia intra-clusters and high inertia inter-clusters. Finally, each cluster found constituted a group of calves with similar rearing management from birth to faecal sampling (management profile). A new "global" risk factor was then considered, each category of this factor being one of the group found. This risk factor related to rearing management profile was then tested in a univariate analysis.

2.3.2. Statistical analyses including only the fostered calves

A second dataset was generated taking into account only the fostered calves ($n = 257$) (i.e. all the calves that were already fostered at the time of faecal sampling). On this dataset, risk factors investigated were fostering-specific variables: nurse cow parity (1, 2, 3 and more), reason for becoming nurse (high somatic cell count or not), successive fostering during the same lactation (yes, no), variables regarding fostering characteristics (age at fostering, time since fostering, number of fostered calves by the same nurse cow, age difference between fostered calves, presence of a *Cryptosporidium* infected calf among calves fostered by the same cow, presence of other cows in addition to the nurse in the pen). A logistic regression analysis was performed as described above in section 2.3.1 for the first dataset (univariate and then multivariate analysis).

In this dataset only one variable was retained in the final multivariate analysis, so the approach consisting in combining several risk factors via the MCA-HCA analysis (as explained above) was not possible. To investigate potential interactions between factors, we analysed the 2 by 2 interactions between factors associated with the outcome variable in the univariate model (P -value < 0.20), each interaction being tested using a mixed effect logistic regression model with farm as random effect.

3. Results

3.1. Description of the dairy nurse cow-calf rearing systems

The majority of the calves (77 %) were crossbred (dairy breeds as Holstein, Normande, Montbeliarde, Jersey and also meat breeds as Limousin, Charolais, Belgian Blue, Rouge Flamande). The purebred calves were mainly Holstein (14 %), the remainder being less than 5 %.

The characteristics of the 20 organic dairy cattle farms included in the study are detailed in Table 1. Calvings were grouped in winter/spring for 9 farms and in summer for 1 farm, split into 2 periods in spring and in summer for 6 farms and spread over at least 6 months during the study for 4 farms.

The rearing practices of the replacement and non-replacement calves greatly varied between farms but consisted basically of 3 phases (Fig. 1): a compulsory first phase with the dam, followed by an optional phase of artificial milk feeding (calves milk-fed by the farmer), and a last phase of fostering by a nurse cow. Non-replacement calves could be sold at any phase of the rearing system. In total, 44 % of the calves were kept in the farms and consisted of replacement female calves and replacement sires. The remainders were sold while the calf was with its dam (10 %), after a period of artificial milk feeding (35 %) or after a fostering phase with a nurse cow (11 %) (Fig. 1). Non-replacement calves were sold on average at 19 days of age.

Regarding the first phase with their dam, two thirds of the calves were born outdoors on pasture, and among calves born indoors, 12 % were born in individual calving pens, whereas the others were born in collective maternity allowing contact with other cows and calves. Calves stayed with their dam during 4.5 days on average, but calves that went through an artificial milk feeding phase stayed a shorter time with their dam compared to those immediately fostered by a nurse cow (1.5 vs. 6.5 days with their dams on average).

More than half of the calves (57 %) went through an artificial milk

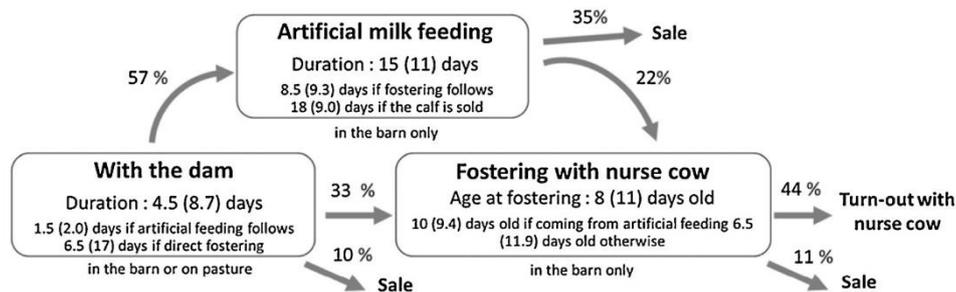


Fig. 1. Description of the nurse cow – calf rearing system: proportion of calves going through each rearing phase (replacement and non-replacement dairy calves) in the 20 organic dairy farms of the study ($n = 611$ calves). Averages (standard deviations) were indicated regarding duration and age. Percentages are calculated on all calves.

feeding phase lasting 15 days on average. This optional phase was carried out in 12 farms including 2 farms using this option only for non-replacement calves. This phase always took place indoors, the calves being housed in individual (45 %) or collective pens (35 %) or both successively i.e. individual then collective pens (20 %). On average, this phase lasted 8.5 days when the calf was eventually fostered and 18 days if the calf was sold. Some farmers used mainly this artificial milk feeding phase to gather calves and to synchronize the fostering of 2–5 calves by a given nurse cow.

More than half of the calves in the study (55 %) were fostered by a nurse cow. This fostering phase involved a nurse cow i.e. an unmilked lactating cow to suckle calves. Calves were fostered at 8 days of age on average, but they were older when they had been artificially milk-fed before and younger when they moved directly from the dam to the nurse (10 vs. 6.5 days). A foster cow nursed from 1 to 5 calves (2.5 calves on average). Among calves fostered by a same nurse cow, the age difference was 6 days on average. The fostering always started indoors and was carried out either in an individual pen (fostered calves with their nurse) or collectively (all the fostered calves with all the nurse cows) (74 % and 26 % of the calves, respectively). Following this fostering phase, 44 % of the calves were assigned to the herd renewal and the remaining 11 % were sold (Fig. 1).

In this study, 158 cows were selected to foster the calves. These nurse cows were mainly Holstein (52 %), Normande (19 %) and crossbred (19 %). Most of the nurse cows were multiparous (85 %), 44 % of them being at least in their 4th lactation. The nurse cows were chosen by the farmers because of high somatic cell counts (45 %), reduced reproduction performances (17 %), milking issues (9 %), lameness (9 %). Other criteria included the maternal character of the cow (9 %) or some practical reasons as calving at the right time (5 %) or the old age of the cow (5 %). The fostering was successful on the first attempt for 90 % of the calves. For the remaining 10 %, changing nurse cow was necessary. A large majority of the fostered calves (92 %) could have direct contact or indirect contact through a barrier with other calves (peer calves, i.e. born during the same calving season) during the fostering phase. It was possible that a nurse cow successively fostered several groups of calves within the same lactation (especially non-replacement calves).

3.2. Prevalence of *Cryptosporidium* oocyst excretion and diarrhoea

Among the 611 sampled calves, 246 (40.2 %) were tested positive for *Cryptosporidium* oocysts excretion (score ≥ 1) based on the modified Ziehl-Neelsen staining. The positive scores were distributed as follows: 156 calves (25.5 %) with score 1, 58 calves (9.5 %) with score 2, 16 calves (2.6 %) with score 3 and 16 calves (2.6 %) with score 4. The average score was 0.6 and the median was 0. The within-herd prevalence of oocyst shedding varied from 0 to 71 % (average 38 %; first quartile 15 %; median 45 %; third quartile 55 %). Calves were on average 12 days old (sd = 3.5 days) at the time of faeces collection. The highest oocyst sheddings (scores 3 and 4) were seen for calves between 7

and 17 days of age.

Only 88 faecal samples (14.4 %) were diarrheic. The prevalence of diarrhoea per herd ranged from 0 to 32 % (average 14 %; first quartile 7 %; median 11 %; third quartile 20 %). Among these diarrheic samples, 61 (69 %) were positive for *Cryptosporidium* oocysts while 12 (14 %) were positive for Coronavirus, 8 (9 %) for Rotavirus and none for *E. coli* F5 (K99). Double infection was uncommon: coronavirus and rotavirus (1 sample), coronavirus and *Cryptosporidium* (7 samples).

3.3. Risk factors associated with *Cryptosporidium* oocyst shedding in all the calves (fostered or not)

3.3.1. Univariate analysis

Variables with a P-value lower than 0.20 are described in Table 2. A strong association was found between oocysts shedding and birth order, month of calving and calf location with the dam. Similarly, variables related to dam parity and calf environment (calving location, calf housing, calf rearing phases before sampling, contact with peer calves and age of peer calves) were also selected for the multivariate model.

In contrast, the following variables were not associated with oocyst shedding (P-value > 0.20): age at sampling (<10 , >10 and ≤ 15 , >15 days), sex, breed (4-way cross, milk cross, meat cross, purebred), problem at calving (yes/no), individual calving pen (yes/no), artificial milk feeding phase (yes/no) and fostering (yes/no).

3.3.2. Multivariate analysis

The variable “calving location” was removed from the multivariate model because it was too dependent of the variable “calf location when with the dam”. The final multivariate model included five potential independent predictors (Table 3). Risk factors significantly associated with *Cryptosporidium* oocyst excretion were: 2nd and 3rd third of birth order in each herd vs 1st third, being born between January and July vs August-September, being with the dam in the barn vs on pasture, being artificially milk-fed with a subsequent fostering or not vs being with the dam only, and being in contact with peer calves.

3.4. Calf management profiles related to *Cryptosporidium* oocyst excretion

Five groups of calves emerged from the MCA and then HCA analyses using the variables of the final multivariate model (Table 4). The groups 1 ($n = 115$), 2 ($n = 189$) and 4 ($n = 75$) had a significant higher proportion of oocyst-shedding calves than those in class 5 and included calves with contact with peer calves and housing with the dam in barn. At the opposite, the group 5 ($n = 121$) included calves born in the 3rd third of birth, born between May and September, having contact with peer calves but being only conducted with their dam on pasture.

*Risk factors associated with *Cryptosporidium* oocyst shedding in fostered calves*

This sub-set of data concerned only fostered calves. Among the 257

Table 2

Univariate analyses (mixed effect logistic regression models): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age in 20 organic dairy farms (n = 611).

Predictor	Level	Number of non shedding calves (score 0)*	Number of shedding calves (score 1–4)*	P-value
Dam parity	1	103	60	0.08
	2	102	78	
	3 and more	151	107	
Birth order	1 st third	147	65	<0.001
	2nd third	113	106	
	3rd third	104	75	
Month of calving	January-February	81	45	<0.001
	March	118	81	
	April	40	44	
	Mai-July	49	53	
Calving location	Pasture	259	145	0.06
	Barn	105	101	
Calf location when with the dam	Pasture	222	95	<0.001
	Barn	142	151	
Calf housing at sampling	Cow barn	19	22	0.01
	Fostering pen	117	110	
	Collective calf pen	105	63	
	Individual calf pen	58	26	
	Pasture	65	25	
Calf rearing phases before sampling	Dam only	62	27	0.07
	Dam + Artificial milk feeding	155	88	
	Dam + Artificial milk feeding + Nurse cow	61	38	
Contact with peer calves	No	86	90	0.18
	Yes	58	30	
Age of the youngest peer calf	<=9	306	213	0.10
	>9	156	104	
Age of the oldest peer calf	alone	145	110	0.04
	<=16	63	32	
	>16	166	137	0.04
	alone	135	77	
		63	32	

* Risk factors for which the sum of the number of calves per level is not equal to 611 are due to missing data.

fostered calves, 117 excreted oocysts of *Cryptosporidium* (45.5 %).

3.4.1. Univariate analysis

Variables with a P-value lower than 0.20 are described in Table 5. Variables related to age at fostering, characteristics of the nurse, number of calves fostered by the nurse and the presence of a *Cryptosporidium* oocyst shedding calf (among calves fostered by the same nurse) were retained in a multivariate model.

The following variables were not associated with oocyst shedding (P-value > 0.20): presence of other cows in addition to the nurse in the pen (yes/no), fostering problems (yes/no), time elapsed since fostering (<=7, >7 days), age of the youngest peer calf with the sampled calf (<= 10, > 10 days), age of the oldest peer calf with the sampled calf (<= 15, > 15 days), and age difference between fostered calves (<= 4, > 4 days).

3.4.2. Multivariate analysis

All variables that could potentially explain the variations in *Cryptosporidium* oocyst excretion (P-value > 0.20 in the univariate analysis) (Table 5) were unrelated to each other and were retained in the multivariate analysis. The final multivariate analysis included only one variable: the presence of a positive calf among calves fostered by the same nurse was a significant risk factor associated with *Cryptosporidium* oocyst

Table 3

Final multivariate analysis (mixed effect logistic regression model): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age in 20 organic dairy farms (n = 611).

Covariate	level	Adjusted OR	95 % CI	P-Value
Birth order	1 st third	Ref.		
	2nd third	2.89	1.55–5.38	<0.001
	3rd third	3.04	1.38–6.69	0.01
Month of calving	January-February	7.36	2.52–21.53	<0.001
	March	7.28	3.02–17.54	<0.001
	April	8.38	3.61–19.45	<0.001
	Mai-July	10.68	4.75–24.05	<0.001
Calf location with the dam	August-September	Ref.		
	Pasture	Ref.		
	Barn	3.02	1.64–5.58	<0.001
Calf rearing phases before sampling	Dam only	Ref.		
	Dam + Artificial milk feeding	4.12	1.30–13.06	0.02
	Dam + Artificial milk feeding + Nurse cow	3.56	1.13–11.23	0.03
	Dam + Nurse cow	2.00	0.88–4.57	0.10
Contact with peer calves	No	Ref.		
	Yes	2.62	1.05–6.53	0.04

OR, odds ratio; CI, Confidence interval.

Table 4

Global management profiles: description of the five groups of calves resulting from the MCA–HCA analysis and their association with *Cryptosporidium* shedding oocysts (univariate regression analysis).

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
Birth order	1 st third	2nd third	3rd third	3rd third	3rd third
Month of calving	January-February	March	Mai-July	April	Mai-July / August-September
Contact with peer calves	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Calf rearing phases before sampling	D + A + N	D + N	D + A	D + N	D
Calf housing with the dam	Barn	Barn	–	–	Pasture
Number	115	189	107	75	121
Ajusted OR	2.11	5.06	2.07	5.70	Ref.
95 % CI	1.08–4.12	2.69–9.52	0.93–4.61	2.73–11.89	Ref.

OR: odds ratio; CI: Confidence interval; D: Dam; A: Artificial milk feeding; N: Nurse cow.

shedding (Adjusted OR = 1.99; 95 % CI = 1.05–3.77; P-value = 0.03).

Among all the 2 by 2 interactions between factors that emerged from the univariate analysis, we observed only one tendency regarding age at fostering and number of calves fostered by the nurse: early fostering (<= 3 days of age) tended to be a risk factor if there were more than 3 calves fostered by the nurse cow (OR = 3.77; CI = 0.91–6.63; P-value = 0.08).

4. Discussion

The objectives of this study were to describe the nurse cow-calf rearing system in 20 organic dairy farms and to evaluate the impact of such practice on the prevalence and intensity of *Cryptosporidium* infection in neonates through the assessment of the associated risk factors.

In our study, suckling system with nurse cows was not straightforward, varied from farm-to-farm and within a farm from calf-to-calf, depending mainly on the purpose of calf rearing (replacement calf or

Table 5
Univariate analyses (mixed effect logistic regression models): factors associated with *Cryptosporidium* oocysts shedding in calves 5 – 21 day of age fostered by nurse cows in 20 organic dairy farms (n = 257).

Predictor	Level	Number of non shedding calves	Number of shedding calves	P-value
Age at fostering	≤3	56	81	0.09
	>3	84	36	
Choice of nurse = high somatic cell count	No	70	75	0.13
	Yes	69	40	
Successive fostering during the same lactation	No	119	101	0.04
	Yes	15	8	
Presence of a positive calf among calves fostered by the same nurse	No	104	53	0.01
	Yes	36	64	
Number of fostered calves by the nurse cow	1	7	10	0.11
	2	47	49	
	3	50	26	
	≥4	36	32	

non-replacement calf). We described a suckling system based on a sequence of 2 or 3 phases: a phase with the dam, an optional phase of artificial milk feeding and a last phase of fostering by a nurse cow. Non-replacement calves could be sold at each phase and could be fostered or not.

In a previous survey carried out in 102 French farms rearing dairy calves with adults (Michaud et al., 2018), a great diversity of suckling practices was observed according to the purpose of the calf (replacement or not). When focusing on replacement calves (46 farms), 31 farms used nurse cows without artificial milk feeding, 6 farms used artificial milk feeding before the nurse cow phase and 9 farms a dam rearing system. As far as non-replacement calves were concerned (76 farms), dam rearing was prevailing (55 farms) then nurse cows without artificial milk feeding (21 farms). This previous study indicated that the nurse cow system was predominant in dairy herds rearing replacement heifers with adult cows (Michaud et al., 2018).

The optional artificial milk feeding phase inserted between the dam and the nurse cow phases is not mentioned in the other previous studies about suckling systems (Johnsen et al., 2016; Krohn, 2001; Langhout and Wagenaar, 2004). In our study, this artificial milk feeding phase was implemented in 12 farms (including 2 farms using this option only for non-replacement calves), lasted only a short time (8.5 days on average), and was mainly used as a buffer phase allowing the gathering of calves born a short time apart to be fostered at the same time by a given nurse. Other farmers used this phase to ensure on the one hand that the separation of the calf from its dam could be carried out early (between 24 and 48 h after calving), but without having the calf fostered too early on the other hand.

Cryptosporidium oocysts were detected in 40.2 % of the faecal samples in this study. Our study did not focus on the different *Cryptosporidium* species that can infect calves reared with nurse cows. Based on molecular knowledge, it can be assumed that at the selected age range (5–21 days) the dominant species is most likely *C. parvum* (Santín et al., 2008). The prevalence found here is similar to figures reported in earlier studies in classically reared dairy calves under 21 days of age in France (Delafosse et al., 2015; Lefay et al., 2000) or elsewhere in Europe (Brook et al., 2008; Castro-Hermida et al., 2002) and in USA (Trotz-Williams et al., 2007; Urie et al., 2018). This prevalence is also comparable to those found in beef cattle farms in Europe (Castro-Hermida et al., 2002; Lefay et al., 2000).

Interestingly, the percentage of calves with an excretion score above 10 oocysts per microscopic field (score 4) was lower in our study (2.6 %) compared to those observed in classically reared dairy calves (i.e. 25.1 % in Delafosse et al., 2015). Similarly, the prevalence of calves with diarrhoea (14.4 %) found in our study was constantly lower than results from France (39 %; Delafosse et al., 2015), Netherlands (25 %; Huetink

et al., 2001), Germany (42.9 %; Bartels et al., 2010) and USA (47 %; Trotz-Williams et al., 2007). The relationship between *Cryptosporidium* oocyst shedding and diarrhoea found in our study (almost 70 % of diarrheic samples were positive for *Cryptosporidium*) confirmed the major role of this parasite in gastroenteritis in bovine neonates (Lefay et al., 2000; Mammeri et al., 2019; Trotz-Williams et al., 2005). If the absence of *E. coli* K99 was rather expected because the minimum age of calves at sampling was ≥5 days (Foster and Smith, 2009), the low prevalence of rotavirus in diarrheic faeces (9%) was more surprising. For example, in the study of Dutch dairy calves performed with a similar dip-stick assay (Bartels et al., 2010), the prevalence of Rotavirus in diarrheic faeces was nearly 31 %. Our results suggest that the situation was rather favourable regarding diarrhoea in general (14.4 %), with a low circulation of *Cryptosporidium* (few animals showing a score ≥ 2) in particular, which could argue for a low exposure to enteropathogens as a whole (Barrington, 2002). Our results show that the rearing of dairy calves together with adult cows, dams and nurses, is globally more protective towards *Cryptosporidium* infection than classically rearing involving young animals only. This could explain the lower frequency of neonatal diarrhoea mentioned in suckling system with dams or nurses compared to artificial rearing systems (Michaud et al., 2018; Wagenaar and Langhout, 2007; Weary and Chua, 2000).

Calves can start excreting oocysts as early as the fourth day of age, show a peak of excretion occurring between 8 and 18 days of age and then a decrease to very low levels after 21 days of age (Trotz-Williams et al., 2007). At the onset of the diarrhoea, dairy calves can excrete 10⁷ oocysts per gram of faeces with *C. parvum* being the main species involved (Rieux et al., 2013) and these animals can produce billions of oocysts during the patency period of 1 or 2 weeks. In contrast, the oocyst excretion by adult cows seems to be extremely low with prevalences of a few percent and intensities of excretion less than a few hundreds of oocysts per gram of faeces while *Cryptosporidium* species involved are *C. andersoni*, *C. bovis* and other genotypes in addition to *C. parvum* (O’Handley, 2007; Xiao, 2010). *Cryptosporidium* oocysts are immediately infective at shedding and show an extreme resistance in the environment, remaining infective for weeks to months under cool and moist conditions and allowing both direct and indirect transmission to calves (De Graaf et al., 1999).

When considering all calves, whether fostered or not, risk factors of oocyst shedding by calves were related to the birth order within the herd and the month of birth. Calves born during the 2nd and 3rd third of the calving period were more exposed to oocysts due to a likely accumulation of faecal material in their environment. Moreover, higher calf excretion was seen in January-July period compared to August-September. In our study, births were unevenly distributed over the seasons according to farms, either grouped in one period, 2 periods or spread over at least 6 months: globally, 73 % of calvings occurred from January to May and 52 % of these calves were with their dam in the barn. In contrast, a dramatic decrease in the number of calving in June and July (10 % of all calvings) and a start of a second calving period for some farms after a break of few months could explain the decrease in oocyst shedding in August and September when most (67 %) of the calves are on pasture with their dam. For those farms having a long calving season, the continuous introduction of susceptible calves is considered as very favourable to maintain *Cryptosporidium* transmission compared to those having a shorter calving season (Olson et al., 2004). The calf housing during the first phase with the dam (barn vs pasture) was found to be a risk factor, the barn being associated with a higher risk of oocyst shedding. This finding is consistent with the general consideration that *Cryptosporidium* (as other enteropathogens) is likely to be more prevalent in enclosed housing allowing limited physical space per calf, direct contact between animals, risk of transmission by people and equipment, faecal material concentration with high moisture content and without full direct sunlight exposure (Barrington et al., 2002).

The impact of leaving calves with adult cows (generally the dam) compared to early separation on calf oocyst excretion is still

controversial. In the cow-calf rearing system described in our study, the calves stay longer with their dam (4.5 days on average) compared to dairy calves classically managed (0–2 days) and some of them keep on staying with adult cows through fostering. When focusing on transmission routes (cow-to-calf, calf-to-calf, calf premises) in a dairy farm in The Netherlands, Huetink et al. (2001) estimated that probably over 20 % of the calves were infected in the maternity pen through direct or indirect contact with faeces of adult cows. Several studies also mentioned that leaving the calf with its dam at birth, even just a few hours, was a risk factor for shedding *Cryptosporidium* or for diarrhoea (Starkey et al., 2006; Szonyi et al., 2012; Trotz-Williams et al., 2007) while, at the opposite, other studies have concluded that leaving the calf with its dam was a protective factor in dairy and beef farms (Kváč et al., 2006; Lassen et al., 2009; Mohammed et al., 1999).

In the multivariate analysis, artificial milk feeding between dam and nurse rearing phases was a risk factor for *Cryptosporidium* infection compared to leaving the calf with the dam. This transitional artificial milk feeding phase could start as early as 1.5 days of life and lasted between 8.5 and 18 days. Fifty-seven percent of calves were involved and were housed in individual (45 %), collective (35 %) or individual followed by collective pens (20 %). The separation of the calf from its dam, the change of feeding method, and the contact with other calves of different ages in new premises generates multiple stress that will make the calf more susceptible to infection, and could therefore increase the risk of excretion. Similar results were obtained by Trotz-Williams et al. (2008) in dairy farms in USA where artificial feeding with milk replacer during the first week of life was associated with an increased prevalence of oocyst shedding. In our study, calves were given whole milk from the farm and this food was not found as a risk or protective factor compared with milk replacer according to Delafosse et al. (2015).

In addition, contacts with peer calves at the time of sampling, and more specifically the presence of an excretory calf among calves fostered by the same cow, were associated with an increased probability of shedding *Cryptosporidium* oocysts. These results were expected as specific premises or utensils for calves as well as direct contacts with possibly infected calves can be considered as major sources of contamination with *Cryptosporidium* oocyst (Hammes et al., 2006; O'Handley, 2007; Sischo et al., 2000).

When focusing on fostered calves, our results showed that early fostering (≤ 3 days) was close to significance a risk factor for *Cryptosporidium* oocyst excretion when a high number of calves (> 3) were fostered by the same nurse. Those specific risks linked to this cow-calf rearing system have never been described before. Our results suggest that early changes in feeding and housing together with the stress of multiple fostering (Johnsen et al., 2016) could increase the susceptibility and/or the early intake of oocysts.

When combining risk factors with the MCA-HCA analysis, the calves most at risk (groups 1, 2 and 4) were subjected to direct calf-to-calf transmission and environmental transmission as they had contacts with peer calves, were born in winter or early spring and housed with their dam in barn, went through an artificial milk feeding phase (group 1) and were fostered. In contrast, the calves least at risk (group 5) were born in the 3rd third of the calving season but their birth between May and September allowed them to be with their dam on pasture. Moreover, they only stayed with their dam before being sampled *i.e.* in an environment with mostly adult cows and no change in location since birth. Thus, remaining with the dam on pasture seems to be protective regarding the transmission of *Cryptosporidium* whatever the possible contacts with other calves.

In conclusion, the rearing of dairy calves with nurse cow is globally more protective regarding the intensity of *Cryptosporidium* infection compared to classic dairy calf rearing. This rearing system is characterized for calf by a longer adult cow (dam, nurse) environment together with a greater opportunity of being on pasture, both factors decreasing the density of *Cryptosporidium* oocysts in the environment.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

Caroline Constancis is a grateful recipient of a grant from the Pays de la Loire Region and the INRAE (French national research institute for agriculture, food and environment). This study was funded by the GrzyDaisy project (H2020 ERA-net project, CORE organic Cofund). The authors sincerely thank the dairy farmers who participated in this study for the collection of fecal samples, for their help and cooperation. The authors are also very grateful for all technical assistance provided at the laboratory by Anne-Sophie Noel and Emmanuelle Blandin. The authors thank the ASTER unit of INRAE in Mirecourt (Eastern France) for their involvement in this study for the collection of fecal samples and their collaboration.

References

- Barrington, G.M., Gay, J.M., Evermann, J.F., 2002. Biosecurity for neonatal gastrointestinal diseases. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 18, 7–34. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00005-1).
- Bartels, C.J.M., Holzhauer, M., Jorritsma, R., Swart, W.A.J.M., Lam, T.J.G.M., 2010. Prevalence, prediction and risk factors of enteropathogens in normal and non-normal faeces of young Dutch dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 93, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.09.020>.
- Brook, E., Hart, C.A., French, N., Christley, R., 2008. Prevalence and risk factors for *Cryptosporidium* spp. infection in young calves. *Vet. Parasitol.* 152, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.12.003>.
- Castro-Hermida, J.A., González-Losada, Y.A., Ares-Mazás, E., 2002. Prevalence of and risk factors involved in the spread of neonatal bovine cryptosporidiosis in Galicia (NW Spain). *Vet. Parasitol.* 106, 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00036-5).
- Castro-Hermida, J.A., Pors, I., Otero-Espinar, F., Luzardo-Alvarez, A., Ares-Mazás, E., Chartier, C., 2004. Efficacy of α -cyclodextrin against experimental cryptosporidiosis in neonatal goats. *Vet. Parasitol.* 120, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.12.012>.
- Chartier, C., Rieux, A., Delafosse, A., Lehebel, A., Paraud, C., 2013. Detection of *Cryptosporidium* oocysts in fresh calf faeces: characteristics of two simple tests and evaluation of a semi-quantitative approach. *Vet. J.* 198, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.06.011>.
- De Graaf, D.C., Vanopdenbosch, E., Ortega-Mora, L.M., Abbassi, H., Peeters, J.E., 1999. A review of the importance of cryptosporidiosis in farm animals. *Int. J. Parasitol.* 29, 1269–1287. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(99\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(99)00076-4).
- Delafosse, A., Chartier, C., Dupuy, M.C., Dumoulin, M., Pors, I., Paraud, C., 2015. *Cryptosporidium parvum* infection and associated risk factors in dairy calves in western France. *Prev. Vet. Med.* 118, 406–412. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.01.005>.
- Fayer, R., Santín, M., Trout, J.M., Greiner, E., 2006. Prevalence of species and genotypes of *Cryptosporidium* found in 1-2-year-old dairy cattle in the eastern United States. *Vet. Parasitol.* 135, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.08.003>.
- Foster, D.M., Smith, G.W., 2009. Pathophysiology of diarrhea in calves. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 2009 (25), 13–36. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.10.013>.
- Hammes, I.S., Gjerde, B., Robertson, L., 2006. Prevalence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in dairy calves in three areas of Norway. *Vet. Parasitol.* 204–216.
- Henriksen, S.A., Pohlenz, J.F., 1981. Staining of cryptosporidia by a modified Ziehl-Neelsen technique. *Acta Vet. Scand.*
- Huetink, R.E.C., Van der Giessen, J.W.B., Noordhuizen, J.P.T.M., Ploeger, H.W., 2001. Epidemiology of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* duodenalis on a dairy farm. *Vet. Parasitol.* 102, 53–67. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00514-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00514-3).
- Johnsen, J.F., Zipp, K.A., Kälber, T., Passillé, A.M., Knierim, U., Barth, K., Mejdell, C.M., 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms?—current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>.
- Krohn, C.C., 2001. Effects of different suckling systems on milk production, udder health, reproduction, calf growth and some behavioural aspects in high producing dairy cows - A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 271–280. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00117-4).
- Kváč, M., Kouba, M., Vítvec, J., 2006. Age-related and housing-dependence of *Cryptosporidium* infection of calves from dairy and beef farms in South Bohemia, Czech Republic. *Vet. Parasitol.* 137, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.01.027>.
- Langhout, J., Wagenaar, J.P., 2004. Suckling as an alternative rearing system for replacement calves on dairy farms. 2nd SAFO Workshop 49–54.

- Lassen, B., Viltrop, A., Järvis, T., 2009. Herd factors influencing oocyst production of *Eimeria* and *Cryptosporidium* in Estonian dairy cattle. *Parasitol. Res.* 105, 1211–1222. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1540-8>.
- Lefay, D., Naciri, M., Poirier, P., Chermette, R., 2000. Prevalence of *Cryptosporidium* infection in calves in France. *Vet. Parasitol.* 89, 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00230-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00230-7).
- Mammeri, M., Chevillot, A., Chenafi, I., Julien, C., Vallée, I., Polack, B., Follet, J., Adjou, K.T., 2019. Molecular characterization of *Cryptosporidium* isolates from diarrheal dairy calves in France. *Vet. Parasitol. Reg. Stud. Reports* 18, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2019.100323>.
- Michaud, A., Clouzier, A., Bec, H., Chassaing, C., Disenhaus, C., Drulhe, T., Martin, B., Pomiès, D., Le Cozler, Y., 2018. Déléguer l'allaitement des veaux laitiers aux vaches: Résultats d'enquêtes auprès des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants* 24, 66–69.
- Mohammed, H.O., Wade, S.E., Schaaf, S.L., 1999. Risk factors associated with *Cryptosporidium parvum* infection in dairy cattle in southeastern New York State. *Vet. Parasitol.* 83, 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2008.01173.x>.
- O'Handley, R.M., 2007. *Cryptosporidium parvum* infection in cattle: are current perceptions accurate? *Trends Parasitol.* 23, 477–480. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.08.005>.
- Olson, M.E., O'Handley, R.M., Ralston, B.J., McAllister, T.A., Thompson, R.C.A., 2004. Update on *Cryptosporidium* and *Giardia* infections in cattle. *Trends Parasitol.* 20, 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.01.015>.
- Rieux, A., Paraud, C., Pors, I., Chartier, C., 2013. Molecular characterization of *Cryptosporidium* isolates from pre-weaned calves in western France in relation to age. *Vet. Parasitol.* 197, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.05.001>.
- Santín, M., Trout, J.M., Xiao, L., Zhou, L., Greiner, E., Fayer, R., 2004. Prevalence and age-related variation of *Cryptosporidium* species and genotypes in dairy calves. *Vet. Parasitol.* 122, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.03.020>.
- Santín, M., Trout, J.M., Fayer, R., 2008. A longitudinal study of cryptosporidiosis in dairy cattle from birth to 2 years of age. *Vet. Parasitol.* 155, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.04.018>.
- Sischo, W.M., Atwill, E.R., Lanyon, L.E., George, J., 2000. Cryptosporidia on dairy farms and the role these farms may have in contaminating surface water supplies in the northeastern United States. *Prev. Vet. Med.* 43, 253–267. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(99)00107-5).
- Starkey, S.R., Kimber, K.R., Wade, S.E., Schaaf, S.L., White, M.E., Mohammed, H.O., 2006. Risk factors associated with *Cryptosporidium* infection on dairy farms in a New York State watershed. *J. Dairy Sci.* 89, 4229–4236. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72468-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72468-7).
- Szonyi, B., Chang, Y.F., Wade, S.E., Mohammed, H.O., 2012. Evaluation of factors associated with the risk of infection with *Cryptosporidium parvum* in dairy calves. *Am. J. Vet. Res.* 73, 76–85. <https://doi.org/10.2460/ajvr.73.1.76>.
- Trotz-Williams, L.A., Jarvie, B.D., Martin, S.W., Leslie, K.E., Peregrine, A.S., 2005. Prevalence of *Cryptosporidium parvum* infection in southwestern Ontario and its association with diarrhea in neonatal dairy calves. *Can. Vet. J.* 46, 349–351.
- Trotz-Williams, L.A., Wayne Martin, S., Leslie, K.E., Duffield, T., Nydam, D.V., Peregrine, A.S., 2007. Calf-level risk factors for neonatal diarrhea and shedding of *Cryptosporidium parvum* in Ontario dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 82, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.003>.
- Trotz-Williams, L.A., Martin, S.W., Leslie, K.E., Duffield, T., Nydam, D.V., Peregrine, A.S., 2008. Association between management practices and within-herd prevalence of *Cryptosporidium parvum* shedding on dairy farms in southern Ontario. *Prev. Vet. Med.* 83, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.03.001>.
- Urie, N.J., Lombard, J.E., Shivley, C.B., Adams, A.E., Koprak, C.A., Santin, M., 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: part III. Factors associated with *Cryptosporidium* and *Giardia* in preweaned dairy heifer calves. *J. Dairy Sci.* 101, 9199–9213. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14060>.
- Vaarst, M., Jensen, M.B., Sandager, A.M., 2001. Behaviour of calves at introduction to nurse cows after the colostrum period. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 27–33. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00120-4).
- Wagenaar, J.P., Langhout, J., 2007. Suckling systems in calf rearing in organic dairy farming in the Netherlands. In: *QLIF Congress, Hohenheim, Germany. Hohenheim, Germany*, pp. 356–360.
- Xiao, L., 2010. Molecular epidemiology of cryptosporidiosis: an update. *Exp. Parasitol.* 124, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2009.03.018>.

Chapitre 4. Dynamiques d'infestation par les strongles digestifs des veaux sous nourrices durant la première saison de pâturage et conséquence durant leur seconde saison de pâturage.



Chapitre 4.1. Gastrointestinal nematode and lungworm infections in organic dairy calves reared with nurse cows during their first grazing season in western France.

(Article 3)

Soumis à *Veterinary Parasitology*



Gastrointestinal nematode and lungworm infections in organic dairy calves reared with nurse cows during their first grazing season in western France

C. CONSTANCIS^a *, C. CHARTIER^a, M. LELIGOIS^a, N. BRISSEAU^a, N. BAREILLE^a, C. STRUBE^b, N. RAVINET^a

^aINRAE, Oniris, BIOEPAR,44300, Nantes, France

^bInstitute for Parasitology, Centre for Infection Medicine, University of Veterinary Medicine Hannover, Buenteweg 17, 30559 Hannover, Germany

Abstract

The rearing system of dairy calves with nurse cows has been developing since 2010 in organic farms in western France. This system allows cow-calf contact until a weaning age close to the natural weaning for cattle and is characterized by an early turnout for calves at around one month of age with their nurse cows and a first grazing season with mixed grazing of calves and adults at a ratio of 2-4 calves per nurse cow. The objectives of this study were to assess the gastrointestinal (GIN) and lungworm infections in such reared calves and their variability during the first grazing season. Faecal egg count (FEC), pepsinogen (PEP) concentration and *Ostertagia* ELISA optical density ratio (ODR) were determined in calves (n=497) at housing in 33 groups from 24 farms in 2018 and in calves (n=405) and nurse cows (n=199) throughout the 2019 grazing season in 41 groups from 20 farms. For lungworm assessment, additional information was obtained in 2019 through the recording of coughing episodes during the grazing season and the *Dictyocaulus* ELISA ODR determination at housing both in calves and nurses. Results indicated that the level of GIN infection was overall low for calves during the first grazing season with PEP and *Ostertagia* ODR values ranging from 0.97 to 1.6 U Tyr and 0.23 to 0.71 ODR respectively. No anthelmintic treatment being given in any group of calves. *Ostertagia* ODR values increased with the duration of the grazing season (>240 d) and with the ratio calves/nurse (>2). GIN parameters for nurses remained fairly stable during the grazing season with mean FEC, PEP and *Ostertagia* ODR values of 13 epg, 2.28 U Tyr and 0.81 ODR respectively. Antibodies against lungworms were detected in 3 to 62 % of calves depending on the duration of grazing season but only 6% of calves showed a coughing episode. The dilution effect due to the mixed grazing of resistant (nurse cows) and susceptible (calves) animals associated with predominant milk diet of calves during the first months of grazing in combination with protective grazing management allow calves to be turned out at an early age without need of anthelmintic treatments. Further studies are needed to assess the GIN infection dynamics during the second grazing season in weaned heifers.

Keywords: Dairy calves, Nurse cows, Cow-calf contact, *Gastrointestinal nematodes*, *Ostertagia ostertagi*, *Dictyocaulus viviparus*, Organic farming, first grazing season

1. Introduction

The rearing of dairy calves with a nurse cow is a long-term suckling system without additional milking where two to four calves have free access to suckle the cow (Krohn, 2001). This calf rearing system has spread in France since its introduction in 2010, especially in organic farming in the west of France (Pailler, 2013). This practice allows for cow-calf contact and, in some way, meets a societal demand not to separate the calf from the adult cow until the calf is weaned (Agenäs et al. 2017). Indeed, the weaning of calves reared with nurse cows is mostly done between 7 and 9 months of age and is close to a natural weaning of cattle between 8 and 11 months of age (Reinhardt and Reinhardt, 1981). Moreover, this more natural calf rearing is part of self-sustaining systems where all ruminants have access to pasture throughout the grazing season satisfying the physiological needs and natural behaviour of the animals (Dumont et al., 2018).

Few data are available regarding the impact of such a system on the health status of calves. Previous studies focused on the neonatal period, reporting a lower frequency of neonatal diarrhoea (Weary and Chua, 2000; Wagenaar and Langhout, 2007; Michaud et al., 2018) and a lesser intensity of neonatal *Cryptosporidium* infection compared to classically reared calves (Constancis et al., 2021). On the other hand, the nurse cow system involves an early turnout of calves with their nurse (around one month old at turnout) and a first grazing season with other fostered calves at a ratio of 2-4 calves per nurse (Constancis et al., 2020). However, no study addressed common infections by pasture borne parasites in temperate environments to which grazing cattle are naturally exposed to, such as gastrointestinal nematodes (GIN) and lungworms (Takeuchi-Storm et al., 2019). *Ostertagia ostertagi* is the most pathogenic GIN and can cause losses related to clinical signs such as diarrhoea or to subclinical reduced weight gains, while *Dictyoacaulus viviparus* can cause serious respiratory disorders (Charlier et al., 2016). It is known that the epidemiology of strongylosis in cattle is related to the seasonal amount of available free-living stages on pasture in relation with the grazing management practices and to the development of an immune response of the host (Armour, 1982). Therefore, the potential long exposure of first grazing season calves to nematodes coupled with an early age at turnout together with mixed grazing between young and adult may deeply alter the epidemiology of lungworm and GIN infection. It can be assumed that strongyle infections of such reared calves are not comparable to that of classically reared dairy calves or beef suckling calves. Indeed, in the standard dairy calves rearing system, calves graze once weaned without adult cow, and are at least 6-8 months old at turnout, while in the beef cattle system, the ratio suckling calf/cow is equal to one and breeds, nutrition plan and grazing management practices are somewhat different. Moreover, as the nurse cow system has been developed particularly in organic farming, it cannot be excluded that some general characteristics of organic farming also impact the strongyle infections of such reared calves (Thamsborg et al., 1999). Epidemiology of GIN infection of standard reared first grazing season calves has been extensively studied both in conventional and organic dairy farms in western France in recent years (Merlin et al., 2016, 2017a, 2017b) but to the best of our knowledge, no data is currently available for this developing calf-nurse cow system.

Thus, the objectives of this study were to assess the GIN and lungworm infections and their variability in first grazing season calves reared with nurse cows.

2. Materials and Methods

2.1. Farms, animals and sampling dates

The study sample was a convenience list of organic dairy farms rearing calves with nurse cows during the first grazing season of calves. These farms were recruited *via* professional organic farmers' organizations and *via* the contact network of farmers who have implemented this nurse cow system. They were all located in the north-west of France (Pays-de-la-Loire, Brittany and Normandy regions). Was added to this sample the INRAE experimental farm of the ASTER research unit located in the east of France (Mirecourt).

This study was performed on two consecutive years (2018 and 2019). Each year, and in each farm, the epidemiological unit was the group, defined as a definite number of first season grazing calves with their nurse cows characterized by a same grazing schedule, *i.e.* same dates of turnout and housing as well as same number of paddocks and time spent on each paddock. One or several groups were followed on each farm.

In 2018, 33 groups from 24 farms were included in the study (1 to 3 groups per farm, 497 calves and 176 nurse cows). In each group, only calves were sampled once at housing at the end of the grazing season. The time between housing and sampling was on average 7 ± 7 days. The groups were composed of 3 to 40 calves and 1 to 18 nurse cows, with on average of 2.6 calves (1.5 to 3.3) per nurse cow.

In 2019, 41 groups from 20 farms were included in the study (1 to 4 groups per farm, 405 calves and 199 nurse cows), with some of the farms already included in the previous year. In each group, all calves and nurse cows were sampled between 1 and 4 times during the grazing season: in April to May, in mid-June to mid-July, in September and finally at housing (late November to early January). As a result, calves born early in the year were sampled 4 times, whereas calves born after September were sampled once. The intervals between turnout and the first sampling and between the last sampling and housing were 25 ± 22 days and 6 ± 15 days, respectively. The groups were composed of 4 to 19 calves and 2 to 10 nurse cows, with an average of 2.0 calves (1.0 to 3.3) per nurse cow.

The majority of the calves were crossbred (75%), mainly with Holstein, Jersey, Normande, Monbeliard, Swedish red polled, French Brown, and Flemish Red breeds. The nurse cows were of Holstein breed (49%) or crossbred with the same breeds as the calves.

2.2. Assessment of nematode infection in animals and GIN infectivity of pasture

Faecal and blood samples were individually collected at each sampling occasion in accordance with animal welfare and without causing stress, according to the Oniris Veterinary Clinical and Epidemiological Research Ethics Committee (CERVO-2018-9-V). Faeces were collected directly in the rectum and blood samples were taken from the tail vein.

Individual GIN faecal egg counts (FEC) were determined according to the Mini-Flotac technique (Cringoli et al., 2017) with a single chamber read per sample (sensitivity of 10 epg) and results were expressed in eggs per gram of faeces (epg). At the group-level, mean values > 200 epg were considered as indicative of a high level of excretion potentially related to subsequent clinical parasitic gastroenteritis (Shaw et al., 1997). Individual serum pepsinogen concentrations (PEP) were determined following the simplified method described by Kerboeuf et al. (2002) and results were expressed in

Units Tyrosine (U Tyr) with mean values higher than 2.0 U Tyr suggesting potential type 1 ostertagiosis. Individual anti-*Ostertagia* antibody levels were determined from sera diluted at 1/160 (Charlier, personal communication), using the SVANOVIR® *O. ostertagi*-Ab ELISA kit (Svanova Biotech, Uppsala, Sweden) with results expressed as optical density ratio (ODR). Mean values of *Ostertagia* ODR > 0.7 were used as an indicator of high exposure to GIN according to Merlin et al. (2016). Individual antibody levels against *D. viviparus* were measured only in the blood samples taken at the end of the 2019 grazing season, and determined with the MSP (Major Sperm Protein) ELISA technique as previously described (von Holtum et al., 2008), results being also expressed as ODR calculated as follows:

$$\text{ODR} = \frac{\text{OD sample} - \text{OD negative control}}{\text{OD positive control} - \text{OD negative control}}$$

The results of *D. viviparus* ELISA were also given qualitatively (positive *versus* negative) based on the cut-off value of 0.5 ODR (von Holtum et al., 2008).

For each sampling occasion, the mean and the standard deviation of individual PEP levels, *Ostertagia* ODRs and FECs were calculated at the group-level. Then, these group-level values were averaged in 2018 and in 2019. The same was applied to the individual *Dictyocaulus* ODRs measured at housing in 2019. Moreover, the percentages of lungworm sropositive calves and cows were calculated in each group and this percentage was also averaged.

Coughing, possibly related to lungworm infection, was recorded individually at each sampling occasion during the 2019 follow-up. Whenever a calf or a nurse cow coughed, individual analyses for the presence of L1 lungworm larvae were performed using the modified Baermann technique with 30 g of faeces (Eysker, 1997) .

In addition, data on grazing management practices of each group were collected from the farmers at each sampling occasion and were entered in the Parasit'Sim model to assess the GIN infectivity of pasture by calculating the number of *Ostertagia* parasitic cycles realized since turnout for each group (Chauvin et al., 2009; Merlin et al., 2017a). This model takes into account the local meteorological conditions and the specific management of each group: daily temperatures of the nearest weather station to the farm, periods of drought and high supplementation in the diet and grazing schedule (date of turnout and housing, number of paddocks, time spent on each paddock). Each parasite cycle modelled giving rise to a new infective larval generation on pastures, the maximum number of larval generations (Lgmax) met by calves in each group was used as an indicator of the GIN larval challenge.

The time of effective contact (TEC) with GIN infective larvae was calculated in days in each group of calves at housing as described by Ravinet et al. (2014). As no anthelmintic treatment was applied during the grazing season, the TEC was: duration of the grazing season minus duration of drought periods with high supplementation of calves (i.e. supplementation feeding representing the largest part of the intake according to the farmer).

2.3. Statistical analysis

The data collected throughout the grazing season in 2019 allowed the description of the kinetics of the different markers of infection (PEP level, *Ostertagia* ODR, FEC). The data collected at housing in 2018 and 2019 were combined in a single dataset (n= 74 groups), and PEP and *Ostertagia* ODR group-level values were selected as relevant GIN infection indicators to analyse the between-group variability of GIN infection. FEC was not selected as it has been previously shown that the egg output peak occurred

during the grazing season and decreased thereafter making this indicator irrelevant at housing (Merlin et al., 2017b; Shaw et al., 1998).

Linear regression models (lme4 package) were used using R software version 3.5.3 (R Foundation for Statistical Computing). The outcome variables were the calves' PEP values and *Ostertagia* ODRs averaged at the group level and the categorical explanatory variables tested for each outcome variable were the following: year (2018 or 2019), number of calves per nurse cow (< 2 or ≥ 2), calves weaned during the grazing season (yes, no), date of turnout (February to April, May to June, July to October), date of housing (1st third (08/18 to 11/21), 2nd third (11/22 to 12/09), 3rd third (12/10 to 01/28)), grazing duration (1st quarter (≤ 133 days), 2nd quarter (134 to 207 days), 3rd quarter (208 to 239 days), 4th quarter (≥ 240 days)), duration of drought (≤ 20, > 20 days), Lgmax (0 to 2, 3 to 4, 5 to 7), age at turnout (< 45, ≥ 45 days). All these variables were potential factors to explain the variations in PEP levels and *Ostertagia* ELISA ODRs.

The factors were first tested in an ANOVA univariate analysis. Then, we selected for the multivariate analysis all the factors with a P-value < 0.20 in the univariate analysis. Collinearity between selected variables was checked by the calculation of the variance inflation factor (VIF). The variables with a VIF more than 5 were excluded from the model. All the remaining variables were included in a multivariate model and then chosen by backward stepwise selection (P-value ≤ 0.05). The presence of confounders was investigated by verifying that the estimates were not changed by more than 20 % when a variable was withdrawn from the model. For each model constructed, residuals and predicted values were plotted to evaluate their heteroscedasticity and their normality.

Differences in *Dictyocaulus* ELISA results (ODR values and percentages of positive calves or cows per group) were analysed. Linear regression tests were used (level of significance set at P-value ≤ 0.05) and adjusted means (lsmean) calculated for each level of the factor and compared using a Tukey test.

3. Results

3.1. Characteristics of the grazing management practices and GIN infectivity of pasture

The description of the study sample and grazing management practices are given in **Table 1**. Calves and their nurse cows were turned out from mid-March in 2018 and from mid-February in 2019, with subsequent turnouts taking place later according to the birth date of calves. The calves were on average one month old at turnout. The majority of groups (n=55/74) grazed on rotational grazing system (with 3 to 30 paddocks used), 14 groups grazed on successive paddocks (one passage per paddock, with no return, 2 to 53 paddocks used), and 5 groups, composed of late-born calves, were on continuous grazing on 1 paddock. The farms included in this study had an average stocking rate of 1.8 cattle/ha. The average grazing duration was 184 ± 71 days with 16 groups grazing for more than 240 days. More than half of the groups (n = 42) were supplemented during a drought period for an average of 81 days in 2018 and 53 days in 2019. Cattle were housed from mid-October to the end of January for the 2018 groups and from mid-September to early-January for the 2019 groups, with only one group being housed in mid-August (at the time of weaning). The calves were on average 7 months old (3 to 14 months) at housing. The calves belonging to the 14 groups weaned during the grazing season were on average 6 months old (3-9 months) at weaning. The weaned calves then grazed alone (without adult nurse cows) for an average of 92 ± 62 days (post-weaning grazing). The other groups of

calves were weaned in the barn after the first grazing season with the nurse cows. None of the animals in the study received any anthelmintic treatment during the grazing season.

Table 1: Description of the study sample (first season grazing dairy calves with nurse cows) and grazing management practices in 2018 and 2019 according to turnout periods

Year	Date of turnout (month/day) (min – max)	Calving period	No. of groups	No. of calves per group (mean (sd))	No. of nurse cows per group (mean (sd))	No. of calves per nurse cows (mean (sd))	Age at turnout (days, mean (sd))	Date of housing (month /day) (min - max)	Age at housing (days, mean (sd))	Grazing duration (days, mean (sd))	No. groups with drought	Duration of drought (days, mean (sd))	Lgmax	No. of groups weaned during the grazing season	Duration of post weaning grazing (days, mean (sd))
2018	03/15 - 06/30	Jan to May ¹	26	16.1 (9.9)	6.1 (3.7)	2.63 (0.51)	45 (38)	12/01 - 01/31	266 (60)	223 (38)	8	81 (40)	4.0 (1.4)	5	130 (61)
	07/15 - 10/15	July to Sept	7	6.4 (5.3)	2.6 (2.1)	2.59 (0.45)	32 (16)	10/15 - 01/15	131 (42)	102 (33)	3	81 (26)	1.7 (1.5)	0	-
2019	02/15 - 05/15	Jan to March	21	9.5 (5.0)	4.9 (2.4)	2.14 (0.58)	27 (18)	08/15 - 12/21	249 (52)	230 (43)	17	52 (29)	3.7 (1.2)	8	75 (34)
	05/15 - 06/30	April to May	6	3.3 (0.5)	2.0 (1.1)	2.32 (0.65)	27 (20)	11/01 - 12/21	207 (22)	179 (24)	3	57 (34)	4.0 (1.4)	1	31
	07/15 - 09/30	July to Aug	10	9.2 (5.6)	5.0 (3.5)	1.67 (0.55)	21 (11)	10/01 - 01/15	115 (23)	100 (24)	7	52 (30)	2.4 (2.0)	0	-
	10/01 - 10/31	Sept to Oct	4	7.0 (5.6)	6.3 (2.8)	1.60 (0.77)	13 (10)	15/11 - 01/15	60 (28)	47 (30)	4	55 (10)	1.3 (0.4)	0	-
Total			74	10.8 (8.1)	5.0 (3.2)	2.27 (0.65)	32 (27)	08/15 - 01/15	212 (83)	184 (71)	42	60 (32)	3.3 (1.7)	14	92 (62)

Lgmax: maximal number of larval generations met on pasture, sd: standard deviation.

¹ Calves in 4 groups were born between October and December 2017 but did not graze in 2017 and were turned out in 2018, so they were considered with the groups of calves born and turned out from January to May 2019.

According to the Parasit'sim model, Lgmax met by calves ranged from 0 to 7, this number being higher for longer grazing durations (**Table 1**). The average TEC with GIN infective larvae was 157 ± 73 days and reached 200 ± 49 days in 2018 and 187 ± 53 days in 2019 for animals with the longest grazing seasons.

3.2. Assessment of GIN infection of calves and nurses at housing in 2018 and throughout the 2019 grazing season

In calves, the mean values of the three indicators of GIN infection at housing in 2018 are given in **Table 2**. The figures showed that the level of GIN infection was low on average for calves reared with nurse cows during the first grazing season. Pepsinogen and *Ostertagia* ODR values were higher ($p < 0.01$) for the longest grazing season groups: 1.22 U Tyr vs. 1.07 U Tyr and 0.71 vs. 0.54 ODR in calves turned out in March to June vs. July to October, respectively. In contrast, FECs were higher for the shortest grazing season groups.

Table 2: Mean values (standard deviation) of the three indicators of gastrointestinal nematode infection measured at housing in 2018 in first season grazing dairy calves reared with nurse cows (n=33 groups). Average values are given according to the period of turnout.

Indicators	Date of turnout (month/day) (min – max)	Indicator values at housing (Oct- Jan) (Mean (sd))
Pepsinogen (U Tyr)	03/15 - 06/30	1.22 (0.65)
	07/15 - 10/15	1.07 (0.68)
<i>Ostertagia</i> ELISA (ODR)	03/15 - 06/30	0.71 (0.20)
	07/15 - 10/15	0.54 (0.16)
Fecal egg count (epg)	03/15 - 06/30	124 (113)
	07/15 - 10/15	187 (200)

U Tyr: unit of tyrosine; ODR: optical density ratio; epg: eggs per gram of faeces; sd: standard deviation

The same parameters obtained at the 4 sampling occasions during the 2019 grazing season are given in **Table 3**. Mean pepsinogen values increased overall during the 2019 grazing season, but, as observed in 2018, remained low overall even at the end of the grazing season, with the highest housing values (on average, 1.6 and 1.45 U Tyr) for the longest grazing season groups (calves turned out in February to May and May to late June). Whatever the period of turnout, mean *Ostertagia* ODR values decreased below 0.3 at the 2nd sampling point and then increased although remaining low (average values < 0.7 at housing whatever the duration of the grazing season) as observed in 2018. Groups of calves turned out in February to May showed a peak in FECs at the second sampling occasion in June-July (222 epg), whereas in groups of calves turned out later (May - June) this peak was a little bit higher (289 epg) and later (at the 3rd sampling point which corresponds to housing). When considering results at housing for 2018 and 2019, we observed that only 25% of the groups had PEP values > 1,68 U Tyr and ODR values > 0,81 ODR.

Table 3: Mean values (standard deviation) of the three indicators of gastrointestinal nematode infection measured at 4 sampling occasions throughout the 2019 grazing season in first season grazing dairy calves reared with nurse cows (n = 41 groups). Average values are given according to date of turnout.

Indicators	Date of turnout (month/day) (min – max)	Sampling dates in 2019			
		April - May	June - July	September	Nov-Jan (Housing)
Pepsinogen (U Tyr)	02/15 - 05/15	1.08 (0.32)	1.47 (0.34)	1.38 (0.58)	1.60 (0.53)
	05/15 - 06/30	-	1.02 (0.29)	1.42 (0.91)	1.45 (0.68)
	07/15 - 09/30	-	-	0.97 (0.36)	1.16 (0.26)
	10/01 - 10/31	-	-	-	0.97 (0.16)
<i>Ostertagia</i> ELISA (ODR)	02/15 - 05/15	0.47 (0.23)	0.20 (0.12)	0.62 (0.19)	0.68 (0.27)
	05/15 - 06/30	-	0.47 (0.13)	0.28 (0.09)	0.63 (0.20)
	07/15 - 09/30	-	-	0.66 (0.18)	0.23 (0.14)
	10/01 - 10/31	-	-	-	0.34 (0.15)
Fecal egg count (epg)	02/15 - 05/15	68 (282)	222 (284)	111 (85)	106 (102)
	05/15 - 06/30	-	16 (15)	141 (222)	289 (319)
	07/15 - 09/30	-	-	7.9 (16)	169 (201)
	10/01 - 10/31	-	-	-	15 (17)

U Tyr: unit of tyrosine; ODR: optical density ratio; epg: eggs per gram of faeces

In nurse cows, the three indicators of GIN infection remained reasonably stable during the 2019 grazing season (data not shown). The nurse cows excreted on average 13 ± 19 epg during the whole grazing season (ranging from 7.7 epg in April – May to 15 epg in September). The average cows' pepsinogen value over the whole grazing season was 2.28 ± 0.72 U Tyr (max = 2.49 U Tyr in June – July and min = 2.10 U Tyr at housing). The average cows' *Ostertagia* ODR value over the whole grazing season was 0.81 ± 0.24 (min = 0.77 in April - May and max = 0.85 ODR in June - July).

3.3. Between-group variability of GIN infection in calves at housing

Results of the univariate analysis testing each potential factor to explain the variations in group means of PEP levels and *Ostertagia* ODRs at housing are given in **Table 4**. Grazing duration, age at turnout, year, weaning during the grazing season, date of turnout and date of housing were retained for the

multivariate analysis regarding PEP values at housing. Regarding the *Ostertagia* ELISA, all the factors tested were significantly associated (P-value <0.05) with ODR values in calves at housing, except the date of housing and the duration of drought which were still retained for the multivariate analysis (P-value < 0.20).

Table 4: Results of the univariate analyses (linear regression models): factors associated with calves' pepsinogen values or *Ostertagia* ELISA ODR values measured at housing and averaged at the group-level (n = 74 groups).

Factors	Levels	No. of groups	Pepsinogen (U Tyr)		<i>Ostertagia</i> ELISA (ODR)			
			Mean (sd)	P-value	Mean (sd)	P-value		
Year	2018	33	1.18 (0.10)	0.10	0.68 (0.05)	b	0.01	
	2019	41	1.41 (0.09)		0.53 (0.04)	a		
No. of calves per nurse cow	< 2	22	1.25 (0.13)	0.60	0.44 (0.05)	a	<0.001	
	≥ 2	52	1.33 (0.08)		0.66 (0.04)	b		
Weaning during grazing season	No	60	1.27 (0.08)	0.19	0.56 (0.04)	a	0.01	
	Yes	14	1.49 (0.15)		0.74 (0.07)	b		
Age at turnout (days)	< 45	58	1.24 (0.08)	a	0.06	0.56 (0.03)	a	0.03
	≥ 45	16	1.55 (0.14)	b		0.73 (0.07)	b	
Date of turnout	February to April	40	1.42 (0.09)	0.13	0.72 (0.03)	b	<0.001	
	May to June	12	1.29 (0.17)		0.60 (0.06)	b		
	July to October	22	1.11 (0.12)		0.36 (0.05)	a		
Date of housing (month/day)	1st third (08/18 to 11/21)	25	1.12 (0.11)	0.09	0.52 (0.05)		0,19	
	2nd third (11/22 to 12/09)	24	1.48 (1.12)		0.66 (0.06)			
	3rd third (12/10 to 01/28)	25	1.33 (0.11)		0.61 (0.05)			
Grazing duration (days)	1st quarter (≤133)	19	1.04 (0.12)	a	<0.001	0.33 (0.05)	a	<0.001
	2nd quarter (134 to 207)	19	1.27 (0.12)	a		0.55 (0.05)	b	
	3rd quarter (208 to 239)	18	1.17 (0.13)	a		0.71 (0.05)	c	
	4th quarter (≥ 240)	18	1.77 (0.13)	b		0.81 (0.05)	c	
Duration of drought (days)	≤ 20	38	1.35 (0.10)	0.50	0.65 (0.04)		0.08	
	> 20	36	1.26 (0.10)		0.54 (0.05)			
Lgmax	0 to 2	23	1.16 (0.12)	0.26	0.46 (0.05)	a	0.02	
	3 to 4	32	1.32 (0.10)		0.65 (0.05)	b		
	5 to 7	19	1.46 (0.13)		0.66 (0.06)	b		

a, b, c: different letters indicate significant differences between categories of a given factor (P<0.05)

ODR: optical density ratio; U Tyr: unit of tyrosine; Lgmax: Maximal larval generations met on pasture; sd: standard deviation.

For PEP, the final multivariate model included the grazing duration as the only significant variable: PEPs were significantly higher (p-value < 0.05) when the grazing duration was longer than 240 days. This final model explained 19% of the variability of PEP according to the adjusted R². For *Ostertagia* ODR, the final multivariate model included the grazing duration and the number of calves per nurse cow as significant variables (**Table 5**): *Ostertagia* ODR values increased with the length of the grazing duration, and were significantly higher when the number of calves per nurse was ≥ 2 (P-value <0.05). Noticeably, this final model explained 48% of the variability of *Ostertagia* ODR according to the adjusted R².

Table 5: Results of the final multivariate analysis (linear regression models): factors associated with calves *Ostertagia* ELISA ODR values measured at housing and averaged at the group-level (n = 74 groups).

Factors	Levels	Ostertagia ELISA (ODR)	
		Mean (sd)	P-value
No. of calves per nurse cow	<2	0.51 (0.04) a	0.02
	≥2	0.64 (0.03) b	
Grazing duration (days)	1st quarter (≤133)	0.33 (0.05) a	<0.001
	2nd quarter (134 to 207)	0.54 (0.04) b	
	3rd quarter (208 to 239)	0.65 (0.05) bc	
	4th quarter (> 239)	0.79 (0.05) c	

a, b, c: different letters indicate significant differences between categories of a given factor (P<0.05)

ODR: optical density ratio; U Tyr: unit of tyrosine; sd: standard deviation.

3.4. Coughing records and ELISA results for *D. viviparus*

Coughing was recorded at least once in 27 of the 41 groups in 2019 with a prevalence of 0 to 27% (calf or nurse cow) per group and sampling occasion. Of the 93 cough records in total, 17 % were recorded at turnout, 44 % in the second and third sampling dates and 39 % at housing, showing an increase in the proportion of coughing animals during the grazing season. The proportions overall of coughing calves and nurses appeared quite similar (5.9 % and 6.5 % respectively). However, on these 93 occurrences, the presence of *D. viviparus* L1 in the faeces was observed in only 4 calves at housing (all these calves being from one group turnout in spring). Three of these four calves were also lungworm seropositive.

At housing in 2019, 78 % of groups (32/41) included at least one seropositive animal (calf or nurse cow). The mean ODR and the mean percentage of ELISA positive calves per group increased with the grazing season duration (**Table 6**), *Dictyocaulus* ODR values being significantly higher in calves turned out early (February-May) compared to calves turned out late (October). In contrast, in nurse cows, *Dictyocaulus* ODR values did not significantly differ according to the grazing season duration.

Table 6: *D. viviparus* MSP ELISA results: Mean ODR values and mean percentages of positive calves and nurse cows per group at housing in 2019 (n = 41 groups). Average values are given according to the date of turnout.

Date of turnout (month/day) (min – max)	<i>Dictyocaulus</i> ELISA (ODR)		Percentage of positive* animals per group	
	Calves (mean (sd))	Nurse cows (mean (sd))	Calves (mean (sd))	Nurse cows (mean (sd))
02/15 - 05/15	0.55 (0.20) a	0.30 (0.12)	58.6 (31.7) c	10.4 (19.8)
05/15 - 06/30	0.53 (0.28) ab	0.39 (0.13)	62.5 (32.4) bc	0.0 (0.0)
07/15 - 09/30	0.33 (0.13) ab	0.30 (0.09)	28.5 (18.7) ab	12.4 (19.4)
10/01 - 10/31	0.25 (0.13) b	0.28 (0.11)	2.78 (5.56) a	3.6 (7.1)
total	0.45 (0.22)	0.30 (10.3)	45.2 (33.2)	8.7 (16.7)
P-value	0.003	ns	0.002	ns

a, b, c: different letters indicate significant differences between categories of a given factor (P<0.05)
ODR: optical density ratio; sd: standard deviation; ns: not significant.

*positivity threshold: 0.5 ODR.

4. Discussion

The objectives of this study were to assess the GIN and lungworm infections in calves reared with nurse cows during their first grazing season and the variability of these infections within the nurse cow rearing system.

The evolution of the three markers of GIN infection in calves throughout the 2019 grazing season was consistent with previous descriptions of GIN infection in first season grazing calves. PEP concentrations increased regularly starting from 1 U Tyr around turnout whereas *Ostertagia* ODRs showed a slight drop at the second sampling date before increasing again until housing. Such variations in *Ostertagia* ODRs have already been described in beef cattle and could be explained by a passive transfer of antibodies via the ingestion of colostrum (Höglund et al., 2013). Regarding FEC, a egg peak was observed two months after turnout. This pattern was frequently reported in both dairy and beef cattle systems (Šarkunas et al., 2000; Nogareda et al., 2006; Höglund et al., 2013) and could be caused by cross-reactions due to *Cooperia* establishment (Eysker and Ploeger, 2000).

When considering PEP concentrations and *Ostertagia* ODRs in calves at the end of both grazing seasons, mean values indicated low levels of infection and exposure overall (PEP ranging from 0.97 to 1.6 U Tyr and *Ostertagia* ODR from 0.23 to 0.71) with only 15% of the groups (11 out of 74) having PEP values consistent with Type 1 ostertagiosis (around 2-2.5 U Tyr according to Kerboeuf et al., 2002). As expected, PEP and *Ostertagia* ODR values were strongly correlated with grazing duration and this relationship is consistent with previous results by Sidikou et al. (2005), Charlier et al. (2011) and Höglund et al. (2013). However, even in long grazing season and without anthelmintic treatment, mean values remained low to moderate. These figures are close to those obtained in low exposed (i.e. *Ostertagia* ODR <0.7 at housing) groups of dairy calves grazing alone during their 1st grazing season in the same area, with mean PEP value and *Ostertagia* ODR of 1.84 U Tyr and 0.65, respectively (Merlin et al., 2016). At the opposite, values for high exposed (*Ostertagia* ODR >0.7) dairy calf groups reached 2.19 U Tyr for PEP and 0.87 for *Ostertagia* ODR in the same study (Merlin et al., 2017a). Regarding FEC, our values showed a higher variability and ranged from 15 to 289 epg at housing. Similarly, Merlin et al. (2017a) showed FEC values of 3-241 epg with no difference between low and high exposed groups.

In our study, several factors may have contributed to keeping GIN exposure and infection at low levels in calves: the presence of adult nurse cows with calves, the predominant milk diet of calves during their first month of life, the grazing management practices, and the meteorological conditions. Each of these factors is discussed in the following.

The presence of nurse cows among calves i.e. the concurrent grazing of susceptible young and resistant adult animals is supposed to reduce nematode infection of the former through a cleaning effect by adult animals, which ingest infective larvae while excreting few eggs in their faeces as demonstrated in beef cattle (Jäger et al., 2005; Thatcher, 2012; Forbes, 2016). However, this dilution effect could be counterbalanced by a higher calf to adult ratio, which is one of the specific traits of nurse cow system in dairy production. Indeed, a significant effect of the number of calves per nurse cow on *Ostertagia* ODR was observed in the multivariate analysis and indicated that the greater the number of calves per nurse cow, the greater the contact of calves with GIN, suggesting a lesser dilution effect by the adults. Moreover, interactions between calves and nurse cows could also include a behavioural component that may impact calf GIN infection. Indeed, although not being a part of this experiment, some farmers of our study actually indicated that nurse cows learn calves not to eat around the dung confirming

previous observations about the role of adult in calf grazing learning (Arrazola et al., 2020; Nicolao et al., 2020; Vaarst et al., 2020).

The rearing of dairy calves on pasture with nurse cows implies an early turnout of calves with free access to the udder. Indeed, as soon as fostering is completed, turnout occurs at one month of age on average, whereas calves are at least 6-8 months of age when turned out in the regular (organic) dairy system (Merlin et al., 2017b). A suckling calf on pasture has predominantly a milk diet during its first three months of life (Sepchat et al., 2017), which strongly limits the ingestion of infective larvae. Thereafter, the grass intake increases considerably between 3 and 8 months of age, while milk consumption decreases from 9.3 kg to 4.5 kg (Le Neindre et al., 1976). In a beef cow-calf system in Germany, it has been shown that a higher age of the calves at turnout was associated with higher egg excretion in the first part of the grazing season, probably in relation to a higher amount of grass and larvae intake (Jäger et al., 2005). A similar relationship was seen in our study with higher level of PEP and *Ostertagia* ODRs at housing for calf ≥ 45 d at turnout although this variable was not kept in the final multivariable models. In addition to the increase of GIN larval intake with grass, Satrija et al. (1991) have shown that the establishment of *Ostertagia* larvae increased with the development of ruminal function. In contrast, milk proteins could reduce larval motility and worm establishment as demonstrated *in vitro* with *Ostertagia (Teladorsagia) circumcincta* (Zeng et al., 2003).

Grazing management practices can strongly influence the seasonal amount of available free-living stages on pasture (Armour, 1982). In our study, in addition to mixed calf/nurse grazing mentioned earlier, almost all the farms had adopted grazing management practices that can be seen as protective against GIN infection: rotational grazing or use of successive paddocks and a lower average stocking rate of 1.8 cattle/ha compared to the mean value of 2.3 cattle/ha in the same area (Agreste, 2017), both of which being considered as evasive and diluting strategies (Waller, 2006). The grazing schedule (dates of turnout and housing, number of paddocks and time spent on each paddock) was taken into account in the Parasit'Sim simulations to estimate the Lgmax met by calves in each group. Lgmax were ≥ 3 for 70 % of groups and ≥ 5 for 25 % of groups which is an indicator of medium to high parasitic risk for non-immune weaned dairy heifers grazing alone (Chauvin et al., 2009; Merlin et al., 2017a). The discrepancy between Parasit'Sim estimates and low PEP/ELISA results strongly suggests that the risk prediction i.e. the Lgmax range has to be fitted to such mixed grazing of susceptible/resistant cattle under low stocking rate condition, for example by setting the risk one generation later.

The pasture infectivity level and the resulting level of GIN infection of calves also depend on weather conditions (Armour, 1982). Our observational study was performed during two consecutive years in order to mitigate the effects of particular weather conditions. Compared to normal values, summer 2018 was characterized by a deficit of cumulative rainfall of 63 mm (- 40 %) but it was the opposite for summer 2019 (+ 40 mm, 25 %). Summer monthly temperatures in 2018 and 2019 were between 0.5 and 2°C higher than the normal values. These data are difficult to interpret precisely but one could rule out that drought alone is responsible for the low infection levels observed.

The impact of mixed grazing between dairy calves and nurse cows on the GIN infection of adults was difficult to evaluate as parasitological indicators are considered of less value for adults than for calves (Vercruyse and Claerebout, 2001). In our study, average PEP concentrations and *Ostertagia* ODRs at housing were higher in nurse cows (2.1 U Tyr and 0.82, respectively) compared to grazing lactating cows (1.3 U tyr and 0.5) (Ravinet et al., 2014). Higher *Ostertagia* ODR values suggest that nurse cows were more exposed to GIN than adult cows grazing under classical conditions, but had a similar exposure when compared to beef cows (Höglund et al., 2013). FEC averaging 13 epg was consistent with values found in dairy cows (Agneessens et al., 2000; Borgsteede et al., 2000) or beef cows (Forbes et al., 2002; Höglund, et al., 2013). A potential greater exposure to infective larvae could induce a

detrimental GIN challenge in lactating cows especially if nutritional requirements are unmet (Barger, 1993). It has been shown that nurse cows generally have a higher milk production than milking cows (Meagher et al., 2019), a marked decrease in body weight and in body condition score during early lactation (Kälber and Barth, 2014 ; Johnsen et al., 2016) when grass-fed only with little or no supplementation during the grazing season (Constancis et al., 2020). As a result, a more accurate assessment of GIN impact on nurse cows in this new system remains to be implemented.

Regarding *Dictyocaulus* infections, 78% of the groups exhibited at least one seropositive calf or nurse cow at the end of the 2019 grazing season. The percentage of positive calves increased in longer grazing seasons and reached 58-62 % for January-May turnout. These results are quite similar to those by Schnieder et al. (1993) who investigated first year grazing weaned dairy calves reared in a standard system in Germany. In contrast, such ODR variation in relation to the duration of the grazing season were not observed for nurse cows, showing a stable percentage of positive animals between 0 and 12.4. In adult cattle, it has been shown that the *Dictyocaulus* MSP antibody response was of limited magnitude and duration following reinfection and seropositivity lasted only for short periods of time (Strube et al., 2017). On the other hand, the proportion of coughing animal was only low, around 6% in both calves and nurse cow, and no anthelmintic treatment was applied in any group by the farmers. These preliminary results suggested that lungworm infection may not be considered as a particular risk in this nurse cow system both for young and adult cattle. However, *Dictyocaulus* epidemiology is highly dependent of weather conditions and the relatively hot summer experienced in 2019 probably has had an adverse effect on the survival of larvae on pastures (Eysker et al., 1994).

Finally, the development of immunity against GIN and lungworm depends both on the magnitude and duration of exposure to infective larvae, and in case of *Ostertagia*, requires approximatively 6 to 8 months of contact to be effective (Vercruyse and Claerebout, 1997; Claerebout et al., 1998; Ravinet et al., 2014). More than half of the groups (42/74) have grazed for more than 6 months and a quarter for more than 8 months but the level of exposure to GIN was rather low when considering *Ostertagia* ODR values. Data obtained in experimental or natural condition by Claerebout et al. (1998) and Eysker et al. (2000) have shown a positive relationship between the level of *Ostertagia*/GIN infection and the level of acquired resistance or early weight gains in the second grazing season. Thus, further studies are needed in weaned heifers to assess the GIN infection dynamics during the second grazing season with a special focus on animals that have had a short first grazing season with nurses.

5. Conclusion

In conclusion, rearing dairy calves with nurse cows allows calves to be turned out at an early age in a protective grazing management system during the first grazing season. Such procedure is characterized by a GIN risk dilution through the adult cows and a progressive larval intake by calves. The potential GIN risk factors for calves include the ratio of calves per nurse cow and the grazing season duration. The lungworms circulate in the groups of calves with nurse cows especially as the grazing season was long but without this clinical sign being visible. This system can be implemented without or only use of anthelmintics.

Conflict of interest statement

The authors declare having no conflict of interest.

Funding

Caroline Constancis is a grateful recipient of a grant from the Pays de la Loire Region and the INRAE (French national research institute for agriculture, food and environment). This study was funded by the GrazyDaiSy project (H2020 ERA-net project, CORE organic Cofund).

Acknowledgements

The authors sincerely thank the dairy farmers who participated in this study for their help and cooperation. The authors thank the ASTER unit of INRAE in Mirecourt (Eastern France) for their involvement in this study for the collection of fecal samples and their collaboration. The authors are also very grateful for all technical assistance provided at the laboratory by Anne-Sophie Noel, Emmanuelle Blandin, Déborah Menard, Julie Briand and Vincent Marinier and on the field by Marion Bernard, Corentin Giraudeau and Melissa Devaux.

References

- Agenäs, S. 2017. Editorial: We need to bring the calves back to the dairy cows. *J. of Dairy Res.*, 84 (3), 239 pp. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000346>
- Agneessens, J., Claerebout, E., Dorny, P., Borgsteede, F.H.M., Vercruyse, J., 2000. Nematode parasitism in dairy cows in Belgium. *Vet. Parasitol.* 90, 83–92.
- Agreste, 2017. *Pratiques d'élevage 2015 Elevages de Bovins. Chiffres et données agriculture*, 246, 38 pp.
- Armour J. 1982. An approach to the epidemiology of helminthiasis in grazing ruminants. In: *Nuclear Techniques in the Study of Parasitic Infections*, International Atomic Energy Agency, Vienna. 367 - 377
- Arrazola, A., Dicker, K., Vasseur, E., Bergeron, R., 2020. The effect of early housing and companion experience on the grazing and ruminating behaviour of naïve heifers on pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 226, 104993. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104993>
- Barger, I.A. 1993. Influence of sex and reproductive status on susceptibility of ruminants to nematode parasitism. *Int. J. Par.* 23, 463-469.
- Borgsteede, F.H.M., Tibben, J., Cornelissen, J.B.W.J., Agneessens, J., Gaasenbeek, C.P.H., 2000. Nematode parasitism in dairy cows in The Netherlands. *Vet. Parasitol.* 89, 287–296.
- Charlier, J., Dorny, P., Levecke, B., 2011. Serum pepsinogen levels to monitor gastrointestinal nematode infections in cattle revisited. *Res. Vet. Sci.*, 90, 451–456. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.06.029>
- Charlier, J., De Waele, V., Ducheyne, E., Van Der Voort, M., Vande Velde, F., Claerebout, E., 2016. Decision making on helminths in cattle: Diagnostics, economics and human behaviour. *Ir. Vet. J.* 69, 1–5. <https://doi.org/10.1186/s13620-016-0073-6>
- Chauvin A., Vermesse R., Lardoux S., Masson M., Ravinet N., 2009. Parasit'Info: un système expert

- d'aide à la gestion du risque des strongyloses digestives et de la fasciolose en élevage bovin. *Le Point Vétérinaire*, 40, 29–30.
- Claerebout, E., Dorny, P., Vercruyse, J., Agneessens, J., Demeulenaere, D., 1998. Effects of preventive anthelmintic treatment on acquired resistance to gastrointestinal nematodes in naturally infected cattle. *Vet. Parasitol.* 76, 287–303. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00101-0)
- Constancis, C., Chartier, C., Bernard, M., Lehebel, A., Brisseau, N., Chauvin, A., Bareille, N., Ravinet, N., 2020. Parasitisme et performances zootechniques des veaux laitiers conduits avec des vaches nourrices en Agriculture Biologique. *Renc. Rech. Ruminants.* 25, 497–501.
- Constancis, C., Ravinet, N., Bernard, M., Lehebel, A., Brisseau, N., Chartier, C., 2021. Rearing system with nurse cows and risk factors for *Cryptosporidium* infection in organic dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 190, 105321. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105321>
- Cringoli, G., Maurelli, M.P., Levecke, B., Bosco, A., Vercruyse, J., Utzinger, J., Rinaldi, L., 2017. The Mini-FLOTAC technique for the diagnosis of helminth and protozoan infections in humans and animals. *Nat. Protoc.* 12, 1723–1732. <https://doi.org/10.1038/nprot.2017.067>
- Dumont, B., Groot, J.C.J., Tichit, M., 2018. Review: Make ruminants green again - how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? *Animal*, 12, S210–S219. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001350>
- Eysker, M., Boersema, J.H., Cornelissen, J.B., Kooyman, F.N., de Leeuw, W.A., Saatkamp, H.W., 1994. An experimental field study on the build up of lungworm infections in cattle. *Vet. Q.* 16, 144–147. <https://doi.org/10.1080/01652176.1994.9694437>
- Eysker, M., 1997. The sensitivity of the Bearmann method for the diagnosis of primary *Dictyocaulus viviparus* infections in calves. *Vet. Parasitol.* 69, 89–93.
- Eysker, M., Boersema, J.H., Kooyman, F.N.J., Ploeger, H.W., 2000. Resilience of second year grazing cattle to parasitic gastroenteritis following negligible to moderate exposure to gastrointestinal nematode infections in their first year. *Vet. Parasitol.* 89, 37–50.
- Eysker, M., Ploeger, H.W., 2000. Value of present diagnostic methods for gastrointestinal nematode infections in ruminants. *Parasitology* 120,109-119. <https://doi.org/10.1017/s0031182099005752>
- Forbes, A., Cutler, K.L., Rice, B.J., 2002. Sub-clinical parasitism in spring-born, beef suckler calves: epidemiology and impact on growth performance during the first grazing season. *Vet. Parasitol.* 104, 339–344.
- Forbes, A., Vercruyse, J., Charlier, J., 2008. A survey of the exposure to *Ostertagia ostertagi* in dairy cow herds in Europe through the measurement of antibodies in milk samples from the bulk tank. *Vet. Parasitol.* 157, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.06.023>
- Forbes, A., 2016. *Grassland management and helminth control on cattle farms*, *Livestock*, 22 (1), 12-17. <https://doi.org/10.12968/live.2017.22.1.12>
- Höglund, J., Hessle, A., Dahlström, F., 2013. Calving season is a stronger determinant of worm burdens in pasture-based beef production than the level of residual larval contamination at turnout. *Vet. Rec.* 172(18), 472. <https://doi.org/10.1136/vr.101077>
- Jäger, M., Gauly, M., Bauer, C., Failing, K., Erhardt, G., Zahner, H., 2005. Endoparasites in calves of beef cattle herds: Management systems dependent and genetic influences. *Vet. Parasitol.* 131, 173–

191. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.05.014>
- Johnsen, J.F., Zipp, K.A., Kälber, T., Passillé, A.M. de, Knierim, U., Barth, K., Mejdell, C.M., 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms?—Current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>
- Kälber, T., Barth, K., 2014. Practical implications of suckling systems for dairy calves in organic production systems - A review. *Landbauforsch. Volkenrode* 64, 45–58. <https://doi.org/10.3220/LBF-2014-45-58>
- Kerboeuf, D., Koch, C., Le Dréan, E., Lacourt, A., 2002. Méthode simplifiée de mesure de la concentration en pepsinogène dans le sérum. *Rev. Med. Vet.* 153, 707–712.
- Krohn, C.C., 2001. Effects of different suckling systems on milk production, udder health, reproduction, calf growth and some behavioural aspects in high producing dairy cows - A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 271–280. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00117-4)
- Le Neindre, P., Petit, M., Müller, A., Pecatte, G., Gallard, Y., 1976. Quantités d'herbe et de lait consommées par des veaux au pis. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 1976, 25 (4), 521-531.
- Meagher, R.K., Beaver, A., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2019. Invited review: A systematic review of the effects of prolonged cow–calf contact on behavior, welfare, and productivity. *J. Dairy Sci.* 102, 5765–5783. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16021>
- Merlin, A., Chauvin, A., Madouasse, A., Froger, S., Bareille, N., Chartier, C., 2016. Explaining variability in first grazing season heifer growth combining individually measured parasitological and clinical indicators with exposure to gastrointestinal nematode infection based on grazing management practice. *Vet. Parasitol.* 225, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.05.006>
- Merlin, A., Chauvin, A., Lehebel, A., Brisseau, N., Froger, S., Bareille, N., Chartier, C., 2017a. End-season daily weight gains as rationale for targeted selective treatment against gastrointestinal nematodes in highly exposed first-grazing season cattle. *Prev. Vet. Med.* 138, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.01.011>
- Merlin, A., Ravinet, N., Madouasse, A., Bareille, N., Chauvin, A., Chartier, C., 2017b. Mid-season targeted selective anthelmintic treatment based on flexible weight gain threshold for nematode infection control in dairy calves. *Animal.* 12, 1030–1040. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002312>
- Michaud, A., Cliozier, A., Bec, H., Chassaing, C., Disenhaus, C., Drulhe, T., Martin, B., Pomiès, D., Le Cozler, Y., 2018. Déléguer l'allaitement des veaux laitiers aux vaches ? Résultats d'enquêtes auprès des éleveurs, *Renc. Rech. Ruminants.* 24, 66–69.
- Nicolao, A., Coppa, M., Bouchon, M., Sturaro, E., Pomiès, D., Martin, B., Koczura, M., 2020. Early-Life Dam-Calf Contact and Grazing Experience Influence Post-Weaning Behavior and Herbage Selection of Dairy Calves in the Short Term. *Front. Vet. Sci.* 7, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.600949>
- Nogareda, C., Mezo, M., Uriarte, J., Lloveras, J., Cordero Del Campillo, M., 2006. Dynamics of infestation of cattle and pasture by gastrointestinal nematodes in an atlantic temperate environment. *J. Vet. Med. B.* 53, 439–444. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.2006.00979.x>

- Paillet, I., 2013. Faciliter l'élevage collectif des génisses. Terra., 4 octobre, 34–35. <http://www.capbio-bretagne.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCODE/00019776?OpenDocument>
- Ravinet, N., Bareille, N., Lehebel, A., Ponnau, A., Chartier, C., Chauvin, A., 2014. Change in milk production after treatment against gastrointestinal nematodes according to grazing history, parasitological and production-based indicators in adult dairy cows. *Vet. Parasitol.* 201, 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.12.031>
- Reinhardt, V., Reinhardt, A., 1981. Natural sucking performance and age of weaning in zebu cattle (*Bos indicus*). *J. Agric. Sci.* 96, 309–312. <https://doi.org/10.1017/S0021859600066089>
- Šarkunas, M., Nansen, P., Hansen, J.W., Paulikas, V., 2000. Effects of Mixed Grazing of First- and Second-year Calves on Trichostrongylid Infections in Lithuania. *Vet. Res. Commun.* 24, 125–134. <https://doi.org/10.1023/A:1006464607212>
- Satrija, F., Nansen, P., Christensen, C.M., 1991. *Ostertagia ostertagi* in neonatal calves: establishment of infection in ruminating and non-ruminating calves. *Res. Vet. Sci.* 344–346.
- Schnieder, T., Bellmer, A., Tenter, A.M., 1993. Seroepidemiological study on *Dictyocaulus viviparus* infections in first year grazing cattle in northern Germany. *Vet. Parasitol.* 47, 289–300. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(93\)90030-Q](https://doi.org/10.1016/0304-4017(93)90030-Q)
- Sepchat, B., D'Hour, P., Agabriel, J., 2017. Production laitière des vaches allaitantes: Caractérisation et étude des principaux facteurs de variation. *Prod. Anim.* 30, 139–152. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.2.2240>
- Shaw, D.J., Vercruyse, J., Claerebout, E., Agneessens, J., Dorny, P., 1997. Gastrointestinal nematode infections of first-season grazing calves in Belgium: General patterns and the effect of chemoprophylaxis. *Vet. Parasitol.* 69, 103–116. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01105-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01105-3)
- Shaw, D.J., Vercruyse, J., Claerebout, E., Dorny, P., 1998. Gastrointestinal nematode infections of first-grazing season calves in Western Europe: Associations between parasitological, physiological and physical factors. *Vet. Parasitol.* 75, 133–151. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00213-6)
- Sidikou, I.D., Remy, B., Hornick, J.L., Losson, B., Duquesnoy, N., Yenikoye, A., Beckers, J., 2005. Le pepsinogène et la prochymosine des bovins: Connaissances actuelles, applications et perspectives dans la stratégie de lutte contre les verminoses gastrointestinales. *Ann. Med. Vet.* 149, 213–228.
- Strube, C., Springer, A., Schunn, A.M., Forbes, A.B., 2017. Serological lessons from the bovine lungworm *Dictyocaulus viviparus*: Antibody titre development is independent of the infection dose and reinfection shortens seropositivity. *Vet. Parasitol.* 242, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.05.023>
- Takeuchi-Storm, N., Moakes, S., Thüer, S., Grovermann, C., Verwer, C., Verkaik, J., Knubben-Schweizer, G., Höglund, J., Petkevičius, S., Thamsborg, S., Werne, S., 2019. Parasite control in organic cattle farming: Management and farmers' perspectives from six European countries. *Vet. Parasitol. Reg. Stud. Reports* 18, 100329. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2019.100329>
- Thamsborg, S.M., Roepstorff, A., Larsen, M., 1999. Integrated and biological control of parasites in organic and conventional production systems. *Vet. Parasitol.* 84, 169–186. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00035-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00035-7)
- Thatcher, A., 2012. Grazing Strategies to Prevent Parasitism of Organic Dairy Calves. 2nd IFOAM /

- ISOFAR International Conference on Organic Animal Husbandry, 'Tackling the Future Challenges of Organic Animal Husbandry' Hamburg, Germany. 2,12–15.
- Vaarst, M., Hellec, F., Verwer, C., Johanssen, J.R.E., Sørheim, K., 2020. Cow calf contact in dairy herds viewed from the perspectives of calves , cows , humans and the farming system . Farmers ' perceptions and experiences related to dam-rearing systems. *J. Sustainable Organic Agric. Syst.* 70, 49–57. <https://doi.org/10.3220/LBF1596195636000>
- Vercruyse, J., Claerebout, E., 1997. Immunity development against *Ostertagia ostertagi* and other gastrointestinal nematodes in cattle. *Vet. Parasitol.* 72, 309–326
- Vercruyse, J., Claerebout, E., 2001. Treatment vs non-treatment of helminth infections in cattle: Defining the threshold. *Vet. Parasitol.* 98, 195–214. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00431-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00431-9)
- von Holtum, C., Strube, C., Schnieder, T., von Samson-Himmelstjerna, G., 2008. Development and evaluation of a recombinant antigen-based ELISA for serodiagnosis of cattle lungworm. *Vet. Parasitol.* 151, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.11.006>
- Wagenaar, J.P.T.M., Langhout, J., 2007. Practical implications of increasing 'natural living' through suckling systems in organic dairy calf rearing. *NJAS Wagen. J. Life Sci.* 54(4), 375–386. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(07\)80010-8](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(07)80010-8)
- Waller, P.J., 2006. Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant live- stock by grazing management and biological control. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126, 277–289.
- Weary, D.M., Chua, B., 2000. Effects of early separation on the dairy cow and calf: 1. Separation at 6 h, 1 day and 4 days after birth. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 177–188. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00128-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00128-3)
- Zeng, S., Brown, S., Przemec, S.M.C., Simpson, H.V., 2003. Milk and milk components reduce the motility of *Ostertagia circumcincta* larvae in vitro. *N. Z. Vet. J.* 51, 174–178.

Chapitre 4.2. Infestation des génisses sevrées par les strongles gastro-intestinaux durant la seconde saison de pâturage.



Introduction

De manière globale, un impact positif de la conduite des veaux sous nourrices sur la santé et les performances des veaux est signalé dans la revue de Beaver et al. (2019). Mais cette méta-analyse ne contient aucune donnée sur les infestations par les strongles gastro-intestinaux (SGI) qui ont une importance majeure au pâturage. Or, la conduite des veaux laitiers sous vache nourrices au pâturage s'accompagne d'une mise à l'herbe précoce et d'une première saison de pâturage (SP1) des veaux avec des animaux adultes. Dans l'étude précédente (**article 3, partie 4.1.**), il a été montré que les veaux sous nourrices présentaient globalement de faibles niveaux d'infestation par les SGI durant la SP1. Trois hypothèses principales non exclusives sont proposées. La première tient à l'effet de dilution lié à la présence d'animaux adultes immuns : les vaches nourrices ingèrent les larves infestantes présentes dans l'herbe mais ne rejettent que peu d'œufs ce qui diminue globalement la pression d'infestation sur les parcelles pour les veaux. La seconde est liée à l'alimentation majoritairement lactée au cours des 3 premiers mois de vie du veau à la mamelle. Les veaux ingèrent moins d'herbe et s'infestent moins que des génisses élevées classiquement pâturant seules en SP1 alors sevrées. Enfin, les conduites de pâturage pratiquées (rotation, faible chargement, etc.) sont également protectrices ce qui permet aussi de diminuer l'infestivité des parcelles.

Ce faible contact avec les SGI (durée de pâturage variable et exposition/infestation faible) pose néanmoins la question d'une stimulation suffisante pour le développement d'une immunité correcte. En effet, le développement de l'immunité concomitante vis-à-vis des SGI, et plus particulièrement d'*Ostertagia ostertagi*, est lié à la fois à la durée et à l'intensité du contact avec les larves (Claerebout et al., 1998) et s'exprime le plus souvent au cours de la 2^{ème} saison de pâturage (SP2). Cette étude avait donc pour objectifs de (i) décrire la dynamique d'infestation en SP2 chez des génisses élevées sous nourrices l'année précédente lors de la SP1, (ii) d'analyser la variabilité de cette infestation en fonction des caractéristiques de conduite en SP1 et en SP2.

Matériels et méthodes

1. Animaux et protocole expérimental

Cette étude est la suite de celle réalisée sur l'infestation des veaux sous nourrices durant la SP1 en 2019 (article 3, partie 4.1.). Parmi les 20 fermes élevant des veaux sous nourrices recrutées pour l'étude préalable de 2019, 19 fermes ont accepté de poursuivre l'étude en 2020 sur les génisses en SP2. Ces fermes étaient situées dans le nord-ouest de la France (Pays de la Loire, Bretagne, Normandie), sauf la ferme Expérimentale de l'unité ASTER de l'INRAE située à Mirecourt (Vosges) qui a également participé à cette étude.

En 2020, 34 lots provenant de ces 19 fermes (1 à 4 lots par élevages) et représentant un total de 312 génisses de SP2 ont été inclus. Les animaux ont été prélevés à trois reprises : en Février-Mars lors de la mise à l'herbe, en Juin-Juillet et à la rentrée en bâtiment entre Novembre et Janvier. Un lot était défini comme un groupe de génisses ayant pâturé ensemble durant toute la SP2 et ayant un historique de durée de pâturage en SP1 similaire (< 90 jours, 90 à 180 jours, 180 à 240 jours ou > à 240 jours). Les lots étaient constitués en moyenne de 9 génisses (3-21). La majorité des génisses étaient croisées (75 %), principalement entre les races Prim' Holstein, Jersiaise, Normande, Montbéliarde, Rouge Suédoise, Rouge flamande et Brunes des Alpes.

2. Prélèvements et analyses de laboratoire

Une prise de sang au niveau de la veine caudale et un prélèvement de matières fécales dans le rectum ont été réalisés sur toutes les génisses aux trois périodes mentionnées. Ces prélèvements ont été réalisés dans le respect du bien-être animal en accord avec le comité d'éthique en Recherche clinique et épidémiologique Vétérinaire d'Oniris (CERVO-2018-9-V).

L'excrétion fécale de SGI, exprimée en œufs par grammes (opg), a été déterminée selon la technique de Mini-Flotac (Cringoli et al. 2017) avec une seule chambre lue par échantillon. Les concentrations sériques individuelles de pepsinogène (PEP) ont été déterminées selon la méthode simplifiée décrite par Kerboeuf et al. (2002) et les résultats ont été exprimés en unités de tyrosine (U Tyr). Les niveaux individuels d'anticorps anti-*Ostertagia* ont été déterminés à partir de sérums dilués au 1/160 (Charlier, communication personnelle), en utilisant le kit SVANOVIR® *O. ostertagi*-Ab ELISA (Svanova Biotech, Uppsala, Suède). Les résultats, exprimés en rapport de densité optique (RDO *Ostertagia*), sont calculés de la manière suivante :

$$\text{RDO échantillon} = \frac{\text{DO échantillon} - \text{DO contrôle négatif}}{\text{DO contrôle positif} - \text{DO contrôle négatif}}$$

En complément, des données sur les pratiques de pâturage ont été collectées auprès des éleveurs à chaque point de prélèvement et ont permis de calculer le nombre de cycles parasitaires d'*Ostertagia* réalisés depuis la mise à l'herbe pour chaque lot en utilisant le modèle Parasit'Sim (Chauvin et al., 2009, Merlin et al., 2017). Ce modèle prend en compte les conditions météorologiques locales et la conduite du pâturage spécifique de chaque lot en intégrant les températures journalières de la station météorologique la plus proche de l'exploitation, les périodes de sécheresse et de forte complémentation ainsi que le planning de pâturage (dates de mise à l'herbe et de rentrée en bâtiment, nombre de paddocks, temps passé sur chaque paddock). Chaque cycle parasitaire modélisé donne lieu à une nouvelle génération larvaire dans les parcelles. Le nombre maximal de générations larvaires (GLmax) rencontrées par chaque lot a été utilisé comme indicateur de l'infestivité des parcelles. Ce calcul a été réalisé pour la SP2 (correspondant à GLmax2) et était déjà disponible pour la SP1 (correspondant à GLmax1).

Le temps de contact effectif (TCE) avec les larves L3 infestantes a été calculé dans chaque lot en prenant en compte la durée de la saison de pâturage et en soustrayant la durée des périodes de sécheresse accompagnées d'une forte supplémentation des veaux (c'est-à-dire une alimentation de complémentation représentant la plus grande partie de la ration selon l'éleveur) comme décrit par Ravinet et al. (2014). Aucun traitement anthelminthique n'a été appliqué pendant la SP2. Toutefois, 4 élevages représentant 7 lots - soit 15% des génisses - ont traité les génisses à la rentrée en bâtiment en fin de SP1.

3. Analyses statistiques

Les moyennes des trois indicateurs parasitaires (excrétion fécale, pepsinogène, RDO *Ostertagia*) ont été calculées pour chaque lot à chaque point de prélèvements en SP2. Ces valeurs moyennes de lot ont été récupérées pour le point de prélèvement correspondant à la rentrée en stabulation de la SP1 (données récupérées dans l'étude de 2019, partie 4.1). Les valeurs moyennes de pepsinogène (marqueur du niveau d'infestation) et de RDO *Ostertagia* (marqueur du niveau d'exposition), de la rentrée en bâtiment en fin de SP2, ont été utilisées pour analyser la variabilité entre les différents lots. L'excrétion fécale n'a pas été retenue pour cette analyse de la variabilité inter-lots car d'une part elle n'est pas reliée à la charge parasitaire en fin de saison de pâturage et d'autre part elle présentait peu de variabilité.

Des modèles de régression logistiques (package lme4) ont été utilisés à l'aide du logiciel R version 3.5.3 (R Foundation for Statistical Computing). Les variables à expliquer étaient les moyennes de pepsinogène ou de RDO *Ostertagia* en SP2 divisés en 2 classes. Le seuil de 2 UTyr a été choisi pour le pepsinogène car il correspond aux valeurs compatibles avec une ostertagiose de type 1 (Kerboeuf et al., 2002). Le seuil de 0,8 a été retenu pour le RDO *Ostertagia* car il correspondait à la valeur médiane.

Les variables explicatives qualitatives étaient les indicateurs relatifs à la SP1 et de SP2. Les indicateurs de SP1 comprenaient la durée de pâturage (< 180 jours ; ≥ 180 jours), le TCE1 (≤ 180 jours ; > 180 jours), le taux d'anticorps anti-*Ostertagia* en fin de SP1 (≤ 0,32 RDO ; 0,32-0,8 RDO ; > 0,8 RDO), la valeur de pepsinogène en fin de SP1 (≤ 1,4 U Tyr ; > 1,4 U Tyr), le GLmax1 (≤ 3 ; > 3), le nombre de veaux par nourrices (< 2, ≥ 2). Les indicateurs de SP2 étaient la durée de pâturage (≤ 275 jours ; > 275 jours), le TCE2 (≤ 275 jours ; > 275 jours), le GLmax2 (≤ 3 ; > 3). Le TCE cumulé a été calculé comme la somme des TCE des deux saisons de pâturage (TCE1 + TCE2) (≤ 423 jours ; > 423 jours). Toutes ces variables ont été considérées comme des facteurs potentiels pour expliquer les variations des valeurs de pepsinogène et de RDO *Ostertagia* en fin de SP2.

Ces variables explicatives ont d'abord été testées en analyse univariée. Les variables avec une P-value < 0.20 ont été sélectionnées pour l'analyse multivariée. La colinéarité entre les variables sélectionnées a été vérifiée par le calcul du facteur d'inflation de la variance (VIF). Les variables dont le VIF était supérieur à 5 ont été exclues du modèle. Les variables restantes ont été incluses dans un modèle multivarié, puis choisies par une procédure de sélection descendante pas à pas (P-value < 0,05). La présence de facteurs de confusion a été étudiée en vérifiant que les estimations n'étaient pas modifiées de plus de 20 % lorsqu'une variable était retirée du modèle. Le modèle multivarié final présentait le plus petit critère d'information d'Akaike (AIC). Un odds ratio (OR) et un intervalle de confiance à 95 % ont été calculés pour chaque variable.

Résultats

1. Caractéristiques des pratiques de pâturage

La description de l'échantillon d'étude et des pratiques de pâturage sont présentées dans le **Tableau I**. Les génisses avaient été sevrées entre le 20 juin 2019 et l'hiver 2019-2020 et sont donc ressorties au pâturage sans nourrice entre le 01/01/2020 et le 17/04/2020 pour leur SP2. Les conduites du pâturage rencontrées étaient assez diversifiées mais étaient basées sur le principe du pâturage tournant. Le nombre de parcelles et le temps passé par parcelle étaient variables d'un élevage à l'autre. En moyenne, les systèmes de pâturage utilisaient 19 parcelles différentes (11–28) avec un temps de séjour moyen par parcelle de 7 jours (4–13). La durée moyenne de la SP2 était de 278 jours (221–324). Près d'un tiers des lots (n = 11) ont été complétés pendant une période de sécheresse de 17 jours en moyenne (3–25). La rentrée en bâtiment a eu lieu entre le 15/11/2020 et le 13/01/2021. Aucun des animaux de l'étude n'a reçu de traitement anthelminthique pendant la saison de pâturage.

Tableau I : Description de l'échantillon d'étude (génisses en seconde saison de pâturage ayant pâturé avec des vaches nourrices en première saison). Les données sont indiquées en fonction de la durée de la saison de pâturage en SP1.

Durée SP1 (jours)	Nombre de lots suivis	Date mise à l'herbe SP2 [min-max]	Date rentrée en bâtiment SP2 [min-max]	Durée SP2 (moy. (sd))	Nombre lots avec de la sécheresse SP2	Durée de la sécheresse (jours) *	GLma x1	GLmax 2	TCE1 (Jours)	TCE2 (Jours)	TCE cumulé (jours)
> 240	8	01/01 - 02/04	20/11 - 13/01	285 (20)	3	21 (6)	4 (1)	5 (1)	222 (37)	277 (16)	499 (40)
180 - 240	10	01/01 - 28/03	15/11 - 07/01	276 (27)	3	14 (1)	3 (1)	5 (1)	182 (22)	272 (29)	453 (30)
90 - 180	9	15/02 - 28/03	15/11 - 13/01	274 (24)	3	14 (10)	2 (1)	5 (1)	95 (23)	270 (26)	365 (30)
< 90	7	15/02 - 17/04	24/11 - 13/01	279 (35)	2	19 (8)	2 (2)	5 (1)	58 (19)	273 (36)	331 (43)
TOTAL	34	01/01 - 17/04	15/11 - 13/01	278 (26)	11	17 (7)	3 (1)	5 (1)	143 (69)	273 (26)	415 (74)

SP1 : première saison de pâturage, SP2 : seconde saison de pâturage, GLmax1,2 : nombre maximal de Générations Larvaires rencontré par chaque lot au cours de la saison de pâturage1,2. sd : écart-type. * La durée moyenne de la sécheresse a été calculée seulement pour les lots subissant une sécheresse ** GLmax2 n'a pu être obtenu que pour 26 lots sur les 34.

Comparées à la SP1, les valeurs de GLmax2 rencontrées par les génisses et les valeurs de TCE durant la SP2 étaient homogènes pour les lots avec une moyenne de 5 jours (3–6) et 273 jours (217–317), respectivement.

2. Description de l'évolution des 3 marqueurs d'infestation à partir de la rentrée en bâtiment en fin de première saison de pâturage et durant la seconde saison de pâturage

Concernant le pepsinogène, les valeurs ont augmenté de manière marquée entre le milieu et la fin de la SP2, quelle que soit la durée de pâturage en SP1 (**Tableau II, Figure 1.B**). Les valeurs relevées en début de SP2 étaient similaires à celles notées en fin de SP1 à savoir des valeurs plus élevées pour des durées de SP1 plus longues (de 1,0 à 1,9 pour les SP1 et de 1,1 à 1,8 pour les SP2). Une augmentation plus précoce, durant la première partie de la SP2, a été notée dans les lots avec une courte SP1 (< 90 jours). En fin de SP2, les valeurs moyennes de pepsinogène étaient toutes élevées ($\geq 2,2$ U Tyr).



Figure 8 : Evolution des niveaux d'anticorps anti-Ostertagia (A), de pepsinogène (B) et d'excrétion fécale d'œufs de SGI (C) de veaux sous nourrices à la rentrée de la première saison de pâturage (SP1) et durant leur seconde saison de pâturage. Cette évolution est représentée en fonction de la durée de pâturage en 1^{ère} saison : <90 jours, 90 à 180 jours, 180 à 240 jours et >240 jours.

Concernant les valeurs de RDO *Ostertagia*, les profils en fin de SP1 puis en cours de SP2 jusqu'à la rentrée étaient comparables à ce qui a été décrit pour le pepsinogène. Les génisses qui avaient pâturé moins de 180 jours en SP1, avaient des valeurs de RDO très basses lors de la fin de la SP1 mais qui augmentaient fortement lors de la SP2 jusqu'à atteindre des valeurs proches de 0,8. Les génisses qui avaient pâturé plus de 180 jours en SP1 avaient des RDO élevés et stables dès la rentrée en fin de SP1 puis durant toute la SP2 (entre 0,7 et 0,9 RDO) (**Tableau II, Figure 1.A**).

Tableau II : Valeurs moyennes par lot (écarts type) de l'excrétion fécale (opg), du pepsinogène sérique (UTyr) et de l'ELISA *Ostertagia* (ODR) en fin de SP1 et aux trois dates de prélèvements en SP2 chez des génisses élevées sous nourrices en SP1.

Marqueurs d'infestation	Durée SP1 (Jours)	Nombre de lots	1 ^{ère} saison de pâturage (SP1)	Seconde saison de pâturage (SP2)		
			Rentrée en bâtiment	Mise à l'herbe	Juin – juillet	Rentrée bâtiment
Excrétion fécale (opg)	< 90	7	78 (90)	70 (68)	111 (122)	51 (32)
	90 – 180	9	160 (198)	137 (95)	33 (18)	15 (12)
	180 – 240	10	232 (257)	115 (82)	20 (10)	25 (46)
	> 240	8	96 (90)	70 (46)	20 (16)	9 (8)
	Total	34	151 (187)	102 (79)	42 (65)	24 (33)
Pepsinogène (Utyr)	< 90	7	1,0 (0,3)	1,1 (0,3)	1,8 (0,7)	2,6 (0,5)
	90 – 180	9	1,1 (0,2)	1,3 (0,4)	1,5 (0,4)	2,4 (0,4)
	180 – 240	10	1,7 (0,5)	1,8 (0,6)	1,8 (0,5)	2,4 (0,6)
	> 240	8	1,9 (0,5)	1,8 (0,6)	1,6 (0,5)	2,2 (0,5)
	Total	34	1,5 (0,5)	1,5 (0,6)	1,7 (0,5)	2,4 (0,5)
ELISA <i>Ostertagia</i> (RDO)	< 90	7	0,26 (0,20)	0,16 (0,13)	0,58 (0,13)	0,79 (0,19)
	90 – 180	9	0,27 (0,18)	0,38 (0,13)	0,66 (0,22)	0,78 (0,13)
	180 – 240	10	0,72 (0,14)	0,68 (0,19)	0,69 (0,20)	0,83 (0,16)
	> 240	8	0,90 (0,13)	0,78 (0,15)	0,71 (0,20)	0,84 (0,19)
	Total	34	0,54 (0,32)	0,51 (0,28)	0,66 (0,19)	0,81 (0,16)

Concernant l'excrétion fécale, dans les lots des veaux qui avaient pâturé au moins 90 jours en SP1 avec leurs nourrices, la moyenne d'opg a diminué tout au long de la SP2 jusqu'à des niveaux d'excrétion bas (≤ 25 opg) en fin de SP2. Cependant, les génisses avec une SP1 d'une durée inférieure à 90 jours, ont eu au contraire un pic d'excrétion (111 ± 122 opg en moyenne) en milieu de la SP2. L'excrétion diminuait ensuite jusqu'à 51 ± 32 opg en fin de saison (**Tableau II, Figure 1.C**).

3. Variabilité du pepsinogène et de l'ODR *Ostertagia* en fin de seconde saison de pâturage

Concernant le pepsinogène, la durée du pâturage de la SP1, le TCE1 cumulé ainsi que le GLmax1 avaient des P-values $< 0,2$ dans l'analyse univariée. Ces variables ont été retenues pour le modèle multivarié (**Tableau III**). Parmi ces 4 variables retenues, les 3 variables TCE cumulé, TCE1 et durée de pâturage en 1^{ère} saison étant trop liées entre elles (VIF > 5). Trois modèles multivariés ont été construits (chacune de ces 3 variables étant testée avec la 4^{ème} variable (GLmax) dans chacun des modèles). Finalement, seul GLmax1 était significatif, ce qui revenait donc à faire une analyse univariée (P-value = 0,04, **tableau III**). Ainsi, le risque de présenter un niveau de pepsinogène sérique élevé en fin SP2 (> 2 UTyr) était plus faible lorsque les génisses avaient été en contact en SP1 avec la troisième génération larvaire ou plus (selon Parasit'Sim).

Tableau III : Résultats de l'analyse univariée (régression logistique) concernant le niveau moyen de pepsinogène sérique : variables explicatives (variables qualitatives) conservées pour l'analyse multivariée (p -value < 0,20).

Variables explicatives	Modalité	Nombre de lots en fonction du niveau de pepsinogène		Odd Ratio [IC à 95%]	P-value
		≤ 2 UTyr	> 2 UTyr		
Durée de la 1 ^{ère} saison de pâturage	< 180 jours	1	15	Ref	0,17
	> 180 jours	4	14	4,29 [0,55 – 89]	
TCE cumulé	≤ 423 jours	1	16	Ref	0,13
	> 423 jours	4	13	0,20 [0,01 – 1,58]	
TCE 1	< 180 jours	2	21	Ref	0,17
	> 180 jours	3	8	0,25 [0,03 – 1,80]	
GLmax 1	≤ 3	1	20	Ref	0,04
	> 3	4	9	0,11 [0,01 – 0,89]	

Concernant l'ELISA *Ostertagia*, les variables durée de la SP1, TCE2, RDO *Ostertagia* en fin de SP1 et nombre de veaux par nourrices en SP1 avaient des P-value < 0,20 dans l'analyse univariée et ont été retenues pour le modèle multivarié (VIF < 5) (Tableau IV). La procédure de sélection descendante pas à pas a éliminé le TCE2 et le RDO *Ostertagia* en fin de SP1, mais la durée de la SP1 n'a pas été supprimée, bien que non significative, car sa suppression faisait bouger les estimations de plus de 20 %. Dans l'analyse multivariée finale, la seule variable explicative significative était le nombre de veaux par nourrice en SP1. Le risque d'avoir un RDO moyen élevé (> 0,8) en fin de SP2 était supérieur lorsque le nombre de veaux par nourrices en SP1 était faible (< 2) (OR = 7,9 [1,4 – 69,3], P-value = 0,03).

Tableau IV : Résultats des analyses univariées et multivariées (régression logistique) concernant le niveau moyen d'anticorps anti-*Ostertagia* (ODR)

Variables explicatives	Modalité	Nombre de lots en fonction ELISA		Univarié		Multivarié	
		≤ 0,8 RDO	> 0,8 RDDO	OR [IC à 95%]	P-value	OR [IC à 95%]	P-value
Durée SP1	< 180 jours	4	12	Ref.	0,13	Ref.	1.3 [0,21 – 7,6] 0,74
	≥ 180 jours	9	9	3,00 [0,73 – 14,2]			
ELISA <i>Ostertagia</i> en fin de SP1	≤ 0,32	2	9	Ref.	0,04	–	
	0,32-0,8	8	4	0,11 [0,01 – 0,68]			
	> 0,8	3	7	0,52 [0,06 – 3,98]			
TCE 2	≤ 275 jours	10	11	Ref.	0,15	–	
	> 275 jours	3	10	3,03 [0,69 – 16,5]			
Nb de veaux par nourrice en SP1	< 2	2	13	Ref.	0,01	7.9 [1,4 – 69,3]	0,03
	≥ 2	11	8	0,11 [0,01 – 0,55]			

Discussion

L'objectif de cette étude était de décrire l'infestation par les SGI et sa variabilité en SP2 chez des génisses élevées sous nourrices l'année précédente lors de la SP1. Pour cela, 312 génisses provenant de 34 lots et de 19 élevages ont été prélevées à 3 reprises au cours de leur SP2.

Les valeurs moyennes des excréments coproscopiques, du pepsinogène sérique et de l'ELISA *Ostertagia* ont montré deux évolutions bien distinctes au cours de la SP2 selon la durée de la SP1. Les lots avec

une SP1 de moins de 90 jours montraient des variations d'indicateurs parasitaires durant la SP2 similaires à celles d'une SP1 de génisses laitières élevées classiquement, avec un pic d'excrétion fécale 2 mois après la mise à l'herbe et une augmentation des niveaux de pepsinogène et d'anticorps anti-*Ostertagia* (Šarkunas et al., 2000 ; Höglund et al., 2013). Cela s'explique à la fois par une très courte SP1, par la présence des nourrices qui induit un effet de dilution en assainissant les parcelles et par une alimentation majoritairement lactée pour les veaux mis à l'herbe en automne. L'ingestion d'herbe et donc de larves infestantes en SP1 a donc été faible et de courte durée. Le contact avec les SGI durant la SP1 a ainsi été négligeable. Cela s'est traduit par des valeurs d'excrétion fécale, de pepsinogène et de RDO *Ostertagia* très basses en fin de SP1 et en début de SP2.

En revanche, les lots avec une SP1 supérieure à 180 jours ont une excrétion fécale qui diminue tout au long de la SP2 avec des valeurs autour de 20 opg dès le prélèvement de juin-juillet ce qui indique clairement l'établissement d'une immunité à l'égard des SGI avec une diminution de la ponte (Claerebout et Vercruyse, 2000). Il est à noter que les veaux ayant réalisé une SP1 de plus de 240 jours présentent des coproscopies basses dès la fin de cette SP1 (96 opg). Dans les lots à SP1 > 180 jours, les niveaux de pepsinogène et les RDO *Ostertagia* étaient élevés et stables en fin de SP1 et jusqu'au milieu de la SP2 pour augmenter en fin de SP2, surtout pour le pepsinogène (2.2 à 2.4 U tyr). Cette évolution du niveau d'anticorps anti-*Ostertagia* est proche de celle observée en SP2 sur des génisses laitières suivies en système classique (Gasbarre et al., 1993). Les valeurs élevées de pepsinogène observées ici en fin de SP2 sont dans la gamme de celles trouvées chez des génisses allaitantes en fin de SP2 (Kerboeuf et al., 1981) mais plus élevées que celles rapportées chez des génisses laitières en fin SP2 (Nansen et al., 1990 ; Šarkunas et al., 2000 ; Eysker et al., 2000 ; Larsson et al., 2011). En outre, l'élévation constatée en fin de SP2 n'est pas rapportée par Entrocasso et al. (1986) lors d'un suivi expérimental sur de jeunes bovins pendant deux saisons consécutives en Ecosse. De telles valeurs de pepsinogène en fin de SP2 peuvent indiquer des charges parasitaires à l'origine de baisses de gain moyen quotidien (GMQ) (Kerboeuf et al., 1981, 2002), mais aucune pesée systématique n'ayant été réalisée dans notre étude. Un tel impact n'a donc pas pu être mis en évidence. Par ailleurs, aucune génisse n'a présenté de diarrhée et les éleveurs n'ont pas eu recours un traitement anthelminthique.

Ces valeurs élevées de pepsinogène en fin de SP2 pourraient s'expliquer par une immunité incomplètement acquise vis-à-vis d'*Ostertagia* en lien avec un défaut d'exposition l'année précédente en raison de la présence des nourrices. Toutefois, cette explication est peu probable pour les génisses qui ont pâturé plus de 240 jours durant la SP1. Chez ces animaux, ou du moins une partie d'entre eux, l'élévation du taux de pepsinogène en fin de saison pourrait au contraire s'expliquer par la réaction immunitaire. Les animaux immunisés pourraient présenter une réaction allergique de la caillette à la suite d'une augmentation de l'ingestion des larves sans développement ultérieur des parasites (Armour et al., 1979, Armour et al., 1987 ; Eysker et Ploeger, 2000). Or dans notre étude, les valeurs élevées des ELISA *Ostertagia* suggèrent que les génisses ont été soumises à une exposition aux L3 importante en fin de SP2. Il est donc possible qu'il n'y ait pas qu'une seule explication à ces niveaux de pepsinogène élevés en fin de SP2, mais plusieurs explications selon l'historique de pâturage en SP1.

Les facteurs expliquant la variabilité du pepsinogène ou des RDO *Ostertagia* en fin de SP2 étaient des indicateurs liés à l'intensité d'exposition aux SGI en SP1. En effet, le risque de présenter un niveau de pepsinogène sérique élevé en fin de SP2 (> 2 U Tyr) était plus faible dans les lots ayant eu un contact larvaire plus élevé au cours de la SP1 (GLmax1 > 3). Ce résultat est à rapprocher des études démontrant le lien entre le niveau d'exposition des génisses aux SGI en SP1 et la résistance ou la résilience exprimée par ces animaux en SP2 (Claerebout et al., 1998 ; Eysker et al., 2000). De plus, nous avons montré que le risque d'avoir un RDO *Ostertagia* élevé (> 0,8 RDO) en fin de SP2 était supérieur lorsque le nombre de veaux par nourrice en SP1 était faible (< 2). Cette association est plus complexe à interpréter mais

pourrait suggérer un effet de dilution plus important et donc un niveau d'exposition des veaux plus faible en SP1 avec des conséquences négatives en SP2 se traduisant par un recyclage parasitaire plus intense et un niveau d'exposition plus élevé.

Dans notre étude, les génisses ont été suivies seulement sur l'année 2020. Les résultats obtenus sont donc conditionnés à la météorologie de cette année de suivi. En comparant cette année aux normales saisonnières de pluviométrie et de température (calculées de 1991 à 2020) de chaque station impliquée dans notre étude, les moyennes étaient supérieures de 7 % et de 1,2 °C, respectivement (le printemps et la fin de l'été ayant été plus chauds que la moyenne mais avec une pluviométrie dans les normes). Cela suggère que l'année 2020 aurait été plutôt favorable au recyclage parasitaire, contribuant à augmenter l'exposition des génisses en fin de saison comme attestés par les RDO *Ostertagia*.

Moins d'une dizaine d'étude ont été menées sur l'infestation des génisses par les SGI en SP2, et pour certaines d'entre elles, la SP2 n'était pas le sujet d'étude principal. Les résultats de cette étude pourraient participer à enrichir les connaissances en système bovin allaitant en SP2 car la conduite des veaux sous nourrices s'apparente au système allaitant avec une mise à l'herbe précoce tout en conservant une alimentation lactée au pâturage, mélangeant des adultes avec des animaux non immuns sur les mêmes pâtures. Cependant, le nombre de veaux par vache adulte est proche de 1 en troupeau allaitant alors que le nombre de veaux par nourrice est souvent supérieur à 2. On peut donc supposer que l'effet de dilution en SP1 en système allaitant est plus important par rapport aux veaux laitiers sous nourrices.

En conclusion, les génisses sous nourrices avec une courte SP1 (< 90 jours) ont une SP2 qui s'apparente de fait à une SP1. En revanche, les génisses avec une longue SP1 (> 180 jours) ont une faible excrétion fécale indiquant le développement d'une immunité vis-à-vis des SGI. Toutefois, les valeurs élevées de pepsinogène et d'ODR *Ostertagia* en fin de SP2 indiquent *a minima* un recyclage parasitaire important dont les conséquences sur les génisses ne peuvent pas être facilement évaluées. Des études complémentaires sont nécessaires pour mesurer l'impact de ces expositions/infestations chez les génisses au courant de la SP2 (diminution de GMQ, performances de reproduction).

Références

- Armour J., Bairden K., Duncan J.L., Jennings F.W., Parkins J.J., 1979. Observations with on Osterragiasis in Young Callie Over Two Grazing Seasons with Special Reference to Plasma Pepsinogen Levels. Vet Rec 105, 500–03.
- Armour J. Duncan M., 1987. Arrested larval development in cattle nematodes. Parasitol. Today 3, 171–176. [https://doi.org/10.1016/0169-4758\(87\)90173-6](https://doi.org/10.1016/0169-4758(87)90173-6)
- Beaver, A., Meagher, R.K., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2019. Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. J. Dairy Sci. 102, 5784–5810. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603>.
- Chauvin A., Vermesse R., Lardoux S., Masson M., Ravinet N., 2009. Parasit'Info : un système expert d'aide à la gestion du risque des strongyloses digestives et de la fasciolose en élevage bovin. Le Point Vétérinaire, 40, 29–30.
- Claerebout E., Dorny P., Vercruyse J., Agneessens J., Demeulenaere D., 1998. Effects of preventive anthelmintic treatment on acquired resistance to gastrointestinal nematodes in naturally infected cattle. Vet. Parasitol. 76, 287–303. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(98\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00101-0)
- Claerebout E., Vercruyse J., 2000. The immune response and the evaluation of acquired immunity

- against gastrointestinal nematodes in cattle: a review. *Parasitology* 120 Suppl, S25–S42. doi:10.1017/S0031182099005776
- Cringoli G., Maurelli M.P., Levecke B., Bosco A., Vercruyse J., Utzinger J., Rinaldi L., 2017. The Mini-FLOTAC technique for the diagnosis of helminth and protozoan infections in humans and animals. *Nat. Protoc.* 12, 1723–1732. <https://doi.org/10.1038/nprot.2017.067>
- Entrocasso C., McKellar Q., Parkins J.J., Bairden K., Armour J., 1986. The sequential development of type I and type II ostertagiasis in young cattle with special reference to biochemical and serological changes. *Vet. Parasitol.*, 21, 173-188.
- Eysker M., Boersema J.H., Kooyman F.N.J. Ploeger H.W., 2000. Resilience of second year grazing cattle to parasitic gastroenteritis following negligible to moderate exposure to gastrointestinal nematode infections in their first year. *Vet. Parasitol.* 89, 37–50.
- Eysker M., Ploeger H.W., 2000. Value of present diagnostic methods for gastrointestinal nematode infections in ruminants. *Parasitology* 120, 109–119. <https://doi.org/10.1017/s0031182099005752>
- Gasbarre L.C., Leighton E.A., Sonstegard T., 2001. Role of bovine immune system and genome in resistance to gastrointestinal nematodes. *Vet. Parasitol.* 98, 51-64.
- Höglund J., Hessle A., Dahlström F., 2013. Calving season is a stronger determinant of worm burdens in pasture-based beef production than the level of residual larval contamination at turnout. *Vet. Rec.* 172(18), 472. <https://doi.org/10.1136/vr.101077>
- Kerboeuf D., Le Garff G., Mage C., 1981. Forecasting of bovine abomasal worm burden by means of serum pepsinogen measurement. Study on suckling calves and heifers in first and second grazing season. *Ann. Rech. Vet.* 12, 201–213.
- Kerboeuf D., Koch C., Le Dréan E., Lacourt A., 2002. Méthode simplifiée de mesure de la concentration en pepsinogène dans le sérum. *Rev. Med. Vet. (Toulouse).* 153, 707–712.
- Larsson A., Uggla A., Waller P.J., Hoglund J. 2011. Performance of second season grazing cattle following different levels of parasite control in their first grazing season. *Veterinary Parasitology* 175, 135–140. doi:10.1016/j.vetpar.2010.09.018
- Merlin A., Chauvin A., Lehebel A., Brisseau N., Froger S., Bareille N., Chartier C., 2017. End-season daily weight gains as rationale for targeted selective treatment against gastrointestinal nematodes in highly exposed first-grazing season cattle. *Prev. Vet. Med.* 138, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.01.011>
- Nansen P., Steffan P., Monrad J., Gronvold J., Henriksen S.A., 1990. Effects of separate and mixed grazing on trichostrongylosis in first and second season grazing calves experimental design. *Vet. Parasitol.* 36, 265–276.
- Ravinet N., Bareille N., Lehebel A., Ponnau A., Chartier C., Chauvin A., 2014. Change in milk production after treatment against gastrointestinal nematodes according to grazing history, parasitological and production-based indicators in adult dairy cows. *Vet. Parasitol.* 201, 95-109.
- Šarkunas M., Nansen P., Hansen J.W., Paulikas V., 2000. Effects of Mixed Grazing of First- and Second-year Calves on Trichostrongylid Infections in Lithuania. *Vet. Res. Commun.* 24, 125–134. <https://doi.org/10.1023/A:1006464607212>

Chapitre 5. Discussion générale



1. Synthèse des résultats

1.1. Mise en œuvre de la conduite des veaux sous nourrices en France et perception des éleveurs

1.1.1. Une pratique importée d'Angleterre qui évolue au fil de sa diffusion

La conduite des veaux sous nourrices a été introduite en France par un groupe d'éleveurs originaires du Finistère à la suite d'un voyage d'étude en Angleterre en 2009 organisé par la chambre d'agriculture de Bretagne. L'un des éleveurs anglais avait des vèlages groupés au printemps sur 6 semaines. Sa stratégie consistait à faire adopter des veaux par des vaches nourrices en 10 groupes identiques constitués chacun de 30 veaux et de 10 vaches. Après la phase d'adoption, les groupes étaient mis à l'herbe tous ensemble puis les veaux étaient sevrés entre 5 et 6 mois. A l'issue de ce voyage d'étude, 7 éleveurs du Finistère ont choisi de mettre en place cette pratique dans leur exploitation, en y apportant des modifications comme : l'adoption en case individuelle avec 3 à 4 veaux par nourrice afin de s'assurer du lien entre la nourrice et les veaux, des sevrages réalisés plus tardivement (jusqu'à 9 mois), et l'absence du veau biologique de la vache nourrice parmi les veaux à adopter pour faciliter le processus. Parmi les éleveurs qui ont participé à notre étude, certaines évolutions ont encore été signalées : la phase optionnelle d'allaitement artificiel a été introduite par 9 des 20 éleveurs, le nombre de veaux mis à l'adoption par vache nourrice a été réduit à 2 ou 3 individus, et la facilitation du sevrage par le maintien d'une vache nourrice parmi les veaux sevrés.

Cette conduite innovante s'est transmise entre agriculteurs à la suite de visites d'éleveurs (seuls ou organisés par des groupes d'échanges) au sein d'élevages ayant mis en place la conduite des veaux sous nourrices (**Figure 1**). Internet a aussi été une source d'informations pour certains éleveurs. La conduite des veaux sous nourrices a été mise en place entre 2013 et 2018 dans les 20 élevages dans lesquels les entretiens ont été conduits dans notre étude.

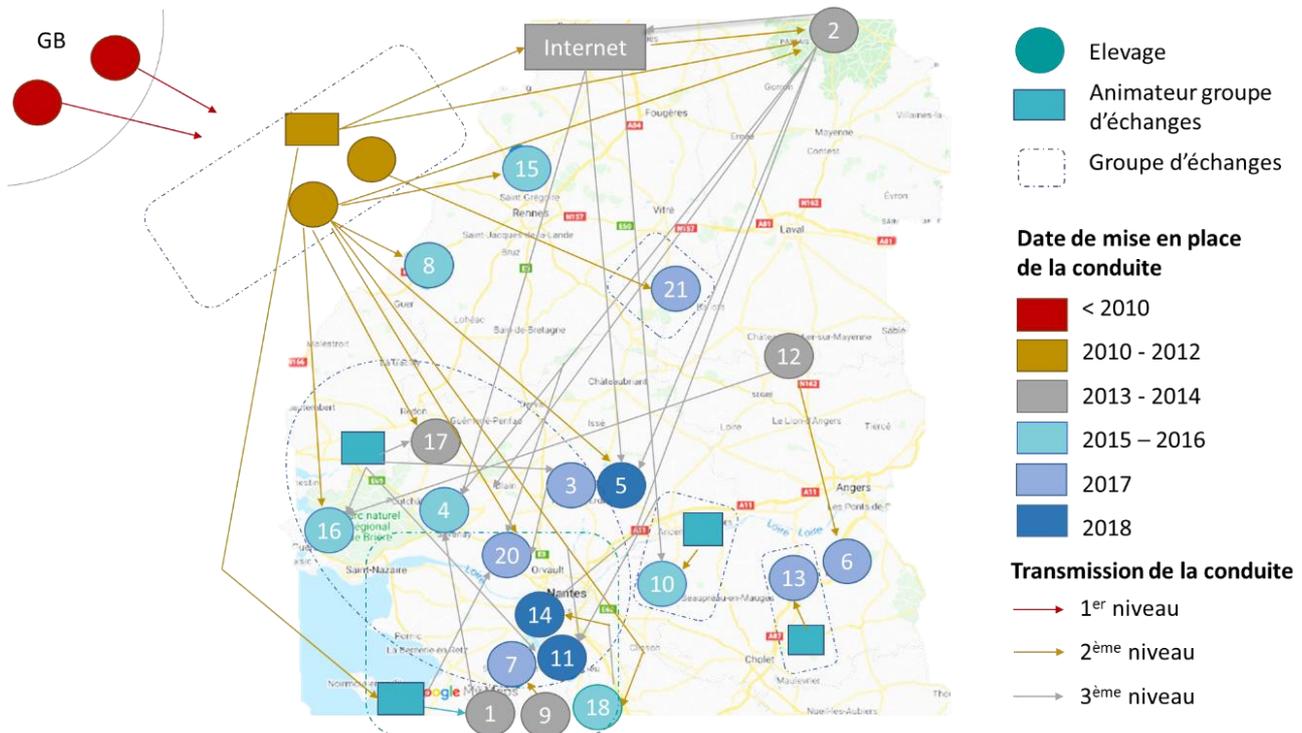
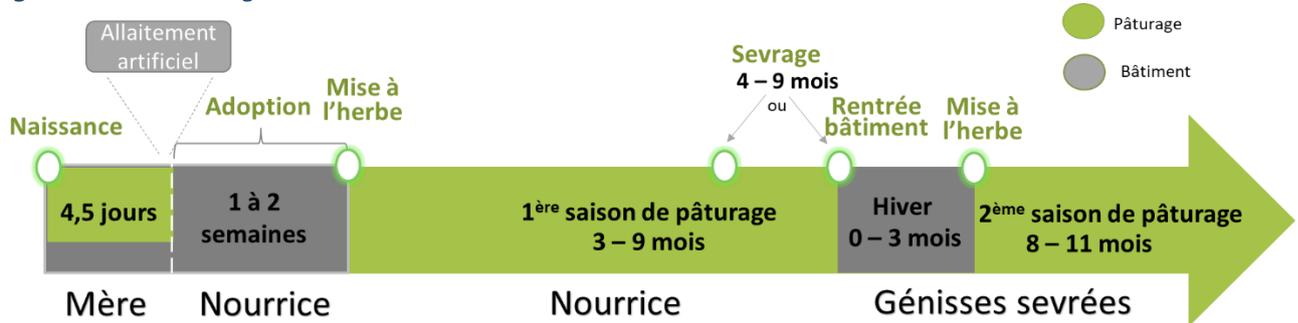


Figure 9 : Représentation spatiale et temporelle de l'introduction en France de la conduite des veaux sous nourrices et de sa diffusion jusqu'aux éleveurs suivis dans notre étude (fermes numérotées).

1.1.2. Une conduite type qui s'adapte à chaque ferme

La **figure 2** ci-dessous synthétise la conduite type.

Figure 10 : Chronologie de la conduite des veaux avec des vaches nourrices



Les veaux naissent majoritairement dehors, dès que les conditions météorologiques le permettent. Ils restent avec leur mère 4,5 jours en moyenne, bien que certains éleveurs préfèrent les laisser jusqu'à un mois sous leur mère. La phase d'allaitement artificiel est une phase optionnelle entre la séparation du veau de sa mère et l'adoption par une vache nourrice. En effet, cette phase peut permettre d'attendre la naissance de 1 à 3 veaux supplémentaires afin de synchroniser au mieux leur adoption par la nourrice lors de vêlages étalés. La phase d'adoption consiste à mettre 2 à 3 veaux simultanément avec la vache nourrice (non traite) dans une petite case en bâtiment pendant 1 à 2 semaines. Cette phase nécessite beaucoup d'attention de la part de l'éleveur car il doit vérifier que les veaux tètent bien la nourrice. La mise à l'herbe se fait lorsque l'adoption est terminée et dès que les conditions météorologiques le permettent. Les veaux ont en moyenne un mois à la mise à l'herbe. Le sevrage des veaux peut avoir lieu au cours de la saison de pâturage vers le mois de septembre ou à la rentrée en bâtiment. Les éleveurs sèvreront principalement les veaux en bâtiment pour éviter que les fils ne soient cassés au pâturage lorsque les veaux essaient de rejoindre les nourrices. Certains éleveurs laissent 1 ou 2 vaches nourrices avec les veaux au sevrage pour qu'ils soient plus calmes.

1.1.3. Un ressenti positif de la part des éleveurs

Les éleveurs sont très satisfaits de cette conduite. Ils y trouvent du plaisir et ne reviendraient pas en arrière. Les éleveurs interrogés ont indiqué percevoir cette conduite comme : plus naturelle, améliorant le bien-être des animaux, améliorant la croissance et la santé des veaux et permettant la disparition de comportements stéréotypés (**Figure 3**). La moitié des éleveurs enquêtés estiment également que ce système d'élevage a permis une amélioration de leurs conditions de travail. Ils soulignent un changement dans la nature de leur travail basé désormais sur davantage d'observations de leurs animaux. Ils témoignent aussi que la meilleure croissance de leurs veaux permet de réduire l'âge au premier vêlage. Selon les éleveurs, il existe certains apprentissages entre la nourrice et les veaux qui leurs permettraient une fois devenus adultes, de mieux intégrer le troupeau laitier car ils auront été habitués à évoluer en groupe et en présence d'animaux d'un plus gros gabarit. Les éleveurs indiquent aussi que la mise en place de ce système a permis de diminuer les diarrhées néonatales, de diminuer la bronchite vermineuse et de mieux contrôler les SGI, diminuant donc les traitements associés. Certains éleveurs déclarent avoir observé une diminution des frais vétérinaires suite à la mise en place de ce système.

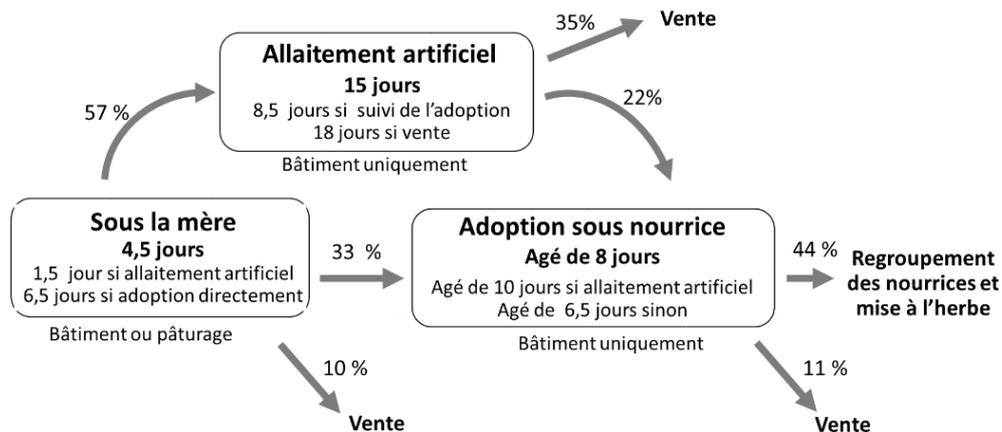
Figure 11: Nuage de mots représentant les perceptions des éleveurs vis-à-vis de la conduite des veaux sous nourrices.



1.2. Description précise des phases d'élevage des veaux durant le premier mois de vie et étude de l'infection par *Cryptosporidium* en période néonatale

1.2.1. Des pratiques diversifiées dans les phases d'élevage de la naissance à la mise à l'herbe
La **Figure 4** ci-dessous synthétise les caractéristiques de chaque phase d'élevage de la naissance à la mise à l'herbe, c'est-à-dire au cours du premier mois de vie des veaux.

Figure 12 : Les trois phases d'élevage des veaux de la naissance à la mise à l'herbe : durée de chacune de ces phases et proportions de veaux passant par chacune de ces phases (n = 611). Les durées correspondent aux moyennes.



Une diversité de conduite durant la période néonatale a été mise en évidence au sein des élevages participant à l'étude (**Figure 4**). Les veaux restaient en moyenne 4,5 jours avec leur mère, cette phase étant plus courte si elle était complétée par une phase optionnelle d'allaitement artificiel. Cela a été le cas dans 12 fermes participant à notre étude. L'adoption était réalisée en moyenne à 8 jours, en bâtiment. Cette phase d'adoption durait de 1 à 2 semaines puis les veaux étaient mis à l'herbe avec leurs nourrices parfois dès 10-15 jours d'âge et en moyenne à 1 mois.

1.2.2. Une excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium* globalement faible dans les élevages pratiquant cette conduite

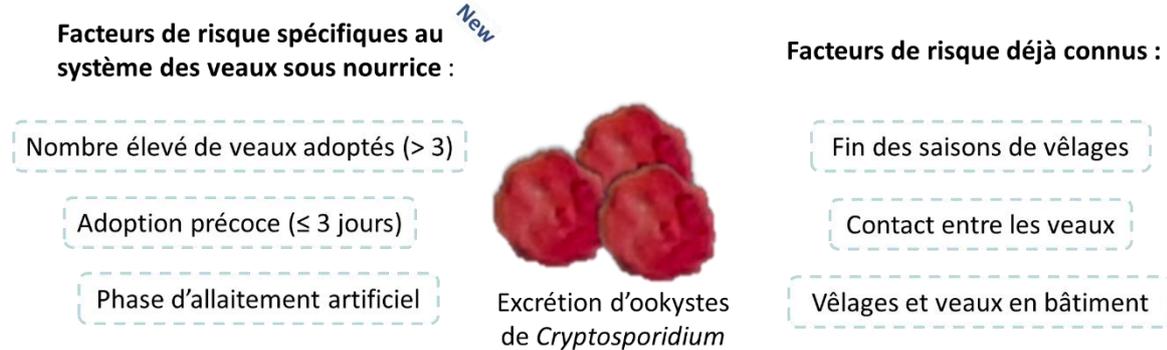
La prévalence d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium* chez les veaux âgés entre 5 et 21 jours était similaire (40,2 %) à celle observée chez les veaux laitiers élevés classiquement. En revanche, l'intensité d'excrétion était beaucoup plus faible que celles rapportées dans les études conduites en système

classique avec une proportion de veaux fortement excréteurs de seulement 2,6 % accompagnée d'un faible pourcentage d'animaux diarrhéiques (14 %).

1.2.3. Les facteurs de risque d'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium*

Les facteurs de risque d'excrétion d'ookystes que nous avons identifiés étaient soit des facteurs déjà identifiés dans d'autres systèmes d'élevage, soit des facteurs de risque spécifiques au système d'élevage des veaux sous nourrices (**Figure 5**).

Figure 5 : Facteurs de risque d'excrétion de *Cryptosporidium* mis en évidence (photo : C. Constancis).



La conduite des veaux sous nourrices génère de nombreux bouleversements au niveau du logement des veaux et des contacts qu'ils ont durant les premiers jours de vie au moment où ils sont pleinement réceptifs. Cette conduite limite toutefois la densité de veaux et la durée des phases d'élevage en bâtiment. Globalement ce système semble plus protecteur vis-à-vis de la cryptosporidiose par rapport à la conduite classique des veaux laitiers qui sont séparés précocement de leur mère et alimentés par du lait donné de manière artificielle en case individuelle ou collective.

1.3. Infestation par les strongles gastro-intestinaux : un contact limité en SP1 avec de possibles conséquences en SP2

Les veaux sont mis à l'herbe avec leurs nourrices en moyenne à l'âge d'un mois alors qu'en élevage conventionnel ils sont mis à l'herbe, une fois sevrés, à l'âge de 9 mois en moyenne. La durée de la SP1 est variable et dépend de la date de naissance et de la date mise à l'herbe. La durée de la SP2 est longue (278 ± 26 jours).

Les valeurs moyennes de pepsinogène sérique et RDO *Ostertagia* étaient globalement faibles en fin de SP1 (respectivement de 0,97 à 1,60 UTyr et de 0,23 à 0,71 RDO) (**Figure 6**), indiquant une faible exposition aux SGI en présence des nourrices. Toutefois, deux facteurs de variation significatifs ont été observés : la durée de SP1 et le nombre de veaux par nourrice. L'excrétion fécale a atteint un pic 2 mois après la mise à l'herbe.

Chez les génisses avec une courte SP1 (< 90 jours), l'évolution des 3 marqueurs parasitaires en SP2 correspondait à celle observée chez des animaux non immuns, alors que chez les génisses avec une longue SP1 (>180 jours), le faible niveau d'excrétion fécale indiquait le développement de l'immunité (**Figure 6**). Enfin, quelle que soit la durée de la SP1, le niveau de pepsinogène et d'anticorps anti-*Ostertagia* en fin de SP2 étaient élevés.

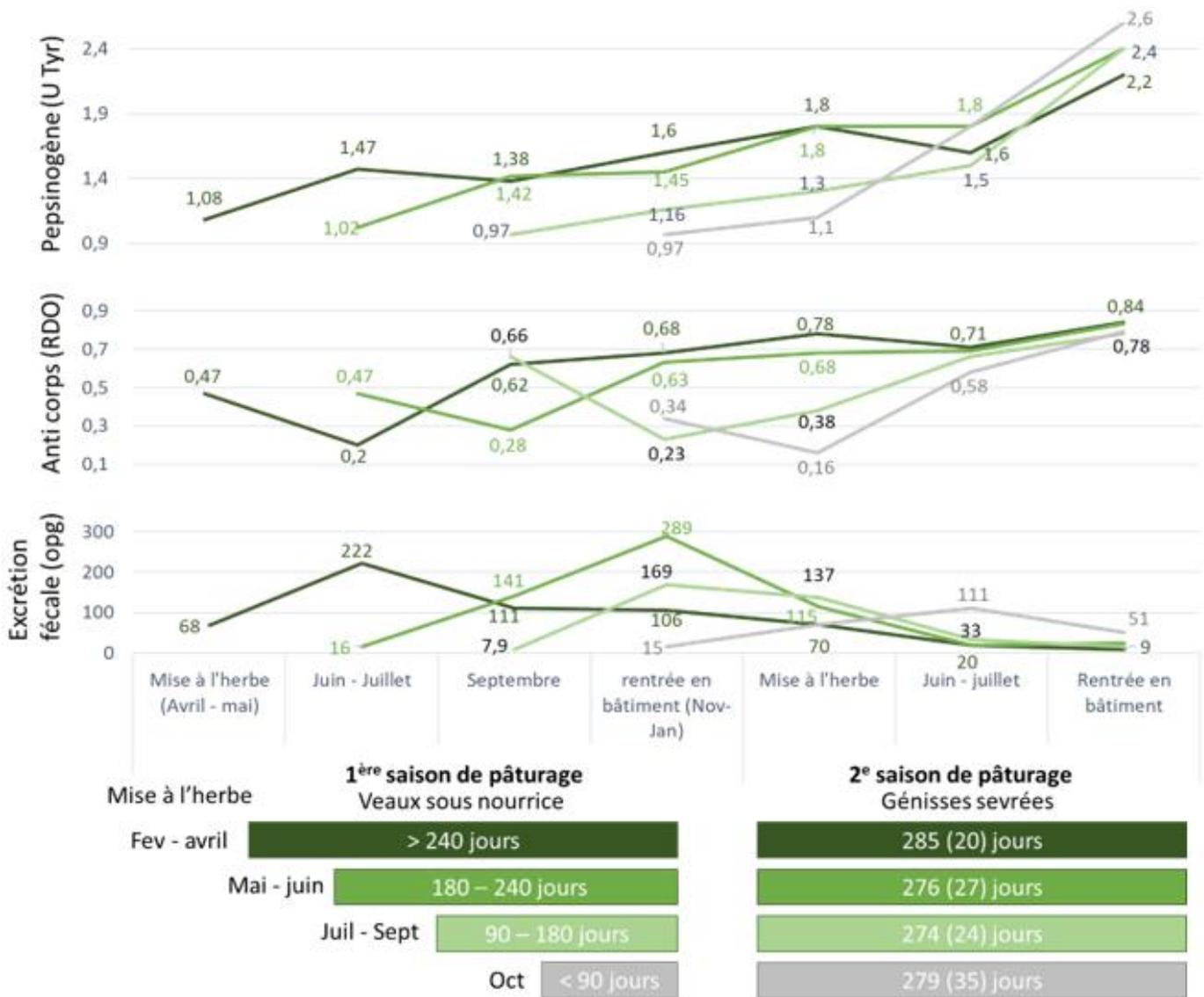


Figure 6 : Evolution des moyennes des 3 indicateurs parasitaires au cours des 2 saisons de pâturages en fonction de la durée de la première saison de pâturage.

L'infestation par les SGI a été influencée par plusieurs facteurs (**Figure 7**). Ces facteurs peuvent être spécifiques de la conduite des veaux sous nourrices et influencer l'infestation en SP1 (pâturage mixte et alimentation lactée des veaux à la mamelle). Ils peuvent aussi être non spécifiques de cette conduite et autant influencer l'infestation en SP1 qu'en SP2 (conduite du pâturage et conditions météorologiques).

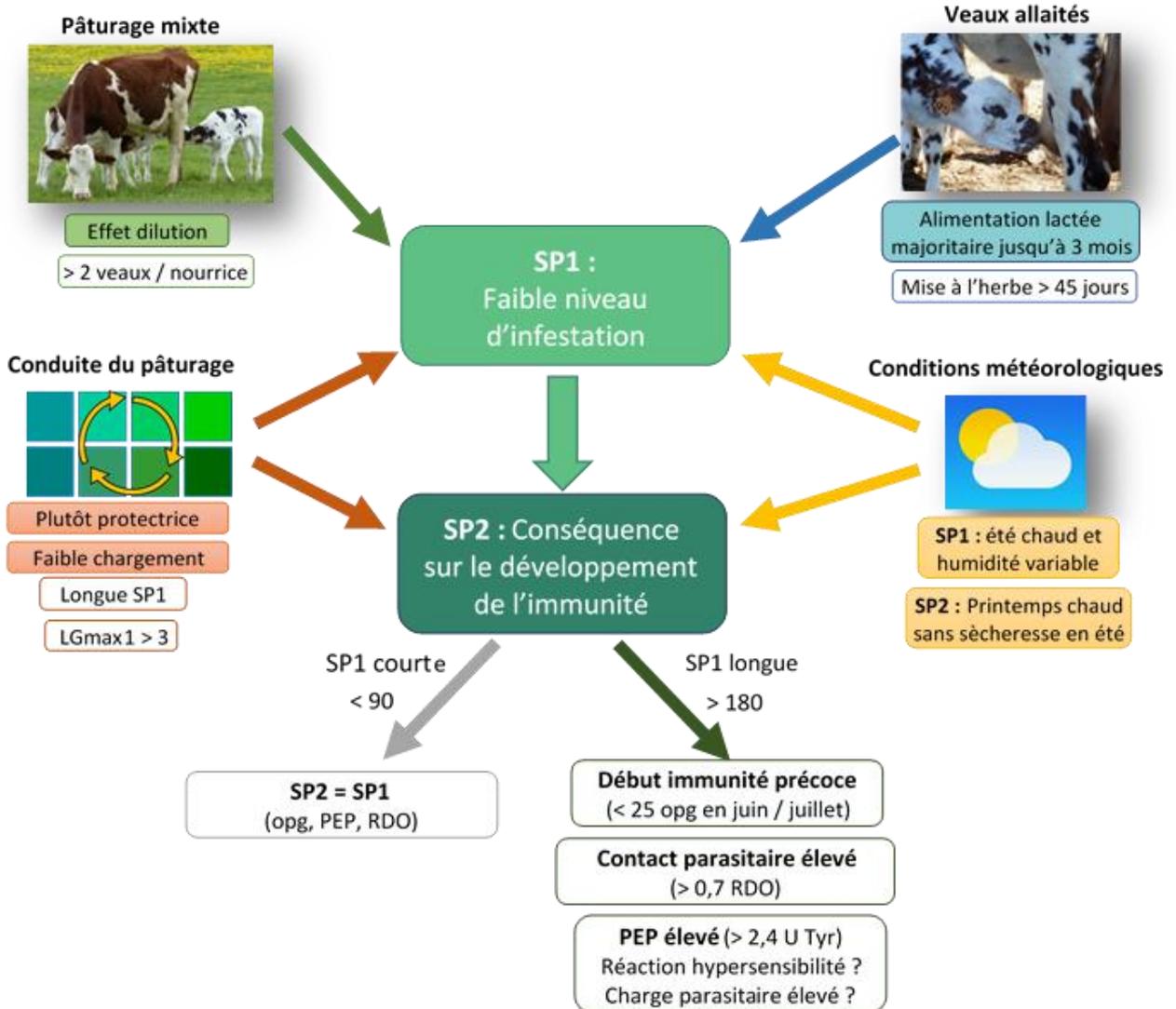


Figure 7 : Facteurs influençant l'exposition des génisses au cours des 2 saisons de pâturage (SP1 et SP2). (Photo : C. Constancis)

L'immunité des nourrices leur permet d'assainir les parcelles en ingérant beaucoup de larves et en excréant peu d'œuf. Toutefois, un nombre élevé (> 2) de veaux par nourrice diminuerait cet effet de dilution et augmenterait donc l'exposition des veaux aux SGI en SP1 (valeurs de RDO alors plus élevées en fin de SP1). Cela a pour conséquence, un plus fort développement de l'immunité des génisses et une régulation du recyclage parasitaire en SP2 (valeurs plus faibles de RDO en fin de SP2).

Les veaux ont une alimentation majoritairement lactée durant les trois premiers mois de leur vie. Les veaux mis à l'herbe précocement consomment moins d'herbe et ingèrent donc moins de larves par rapport à ceux mis à l'herbe plus tardivement. En effet, la mise à l'herbe après 45 jours d'âge était associée (en analyse univariée) à des valeurs plus élevées de pepsinogène et d'ELISA *Ostertagia* en fin de SP1. La quantité de lait consommé a donc un impact sur l'infestation des veaux.

2. Forces et faiblesses du dispositif d'études

Notre travail vient combler une absence complète d'information préalable sur le parasitisme par *Cryptosporidium* et par les strongles digestifs et respiratoires chez les veaux laitiers dans le système d'élevage sous nourrices. Les seules données de la littérature sont des signalements ou des témoignages peu précis sur des états de santé en général. La majorité des études actuelles en matière de système de veaux laitiers avec des adultes se concentrent sur le lien mère-veau en fermes expérimentales. Peu d'études sont menées sur la conduite des veaux sous nourrices, bien que ce système soit plus facile à mettre en place par les éleveurs. En effet, en Europe, dans les systèmes d'élevage permettant de conserver un lien entre veaux laitiers et animaux adultes, les génisses de renouvellement sont plus fréquemment élevées sous une nourrice que sous leur mère (Michaud et al., 2018 ; Vaarst, communication personnelle).

2.1. Le choix de deux études observationnelles

Dans les systèmes de veaux avec des vaches adultes, les études observationnelles et expérimentales ont chacune leur importance (de Oliveira et al., 2020). Les études expérimentales sont intéressantes pour étudier la causalité de facteurs spécifiques. Les études observationnelles, quant à elles, intègrent la complexité rencontrée dans une exploitation agricole, dans laquelle de multiples facteurs interagissent (de Oliveira et al., 2020). Elles sont donc particulièrement indiquées pour mettre en évidence des facteurs de risques dans leur globalité.

L'élevage des veaux sous nourrices présente une grande variabilité de conduite entre les différentes fermes mais aussi, parfois, au sein d'un même élevage au cours de la saison. La conduite des veaux sous nourrices nécessite, en effet, une gestion individuelle des veaux. Etant donné le peu de connaissances sur la conduite des veaux sous nourrices en France, nous avons opté pour des études observationnelles permettant d'intégrer un maximum de facteurs susceptibles d'interférer avec les parasitoses retenues. Les résultats obtenus dans ces conditions restent par définition limités aux conditions et aux pratiques existantes dans les exploitations étudiées (de Oliveira et al., 2020).

Au cours de la thèse nous avons réalisé deux types d'études observationnelles différentes. Une étude transversale a été choisie pour l'étude de la cryptosporidiose en raison de la courte fenêtre d'excrétion de ce parasite puisqu'il est excrété chez des veaux principalement de 5 à 21 jours de vie avec, par la suite, le développement d'une réponse immunitaire. Un seul point de mesure peut donc être considéré comme étant suffisant pour être fiable et permet de réaliser une étude de type facteurs de risque en désignant le veau comme unité épidémiologique. La prévalence est cependant nécessairement sous-estimée par rapport à un suivi longitudinal comprenant plusieurs prélèvements pendant la fenêtre d'excrétion. En revanche, l'étalement de cette étude sur 9 mois a permis d'englober la grande majorité des vêlages dans les élevages suivis, ce qui est un point particulièrement important en matière de cryptosporidiose.

Pour étudier les strongles nous avons opté pour une étude longitudinale afin d'apprécier la dynamique d'infestation au cours des deux saisons de pâturage car le processus aboutissant à une réponse immunitaire demande plusieurs mois (*Ostertagia*). L'unité épidémiologique retenue a été le lot et non l'individu pour 2 raisons principales. D'une part, les trois indicateurs parasitaires étudiés (coproscopie, pepsinogène, ELISA *Ostertagia*) sont davantage interprétables au niveau du groupe qu'à celui de l'individu. D'autre part, la dynamique d'infestation par les strongles dépend essentiellement du statut immunitaire de l'animal et de sa conduite au pâturage ; or ces deux éléments caractérisent un ensemble d'animaux placés dans les mêmes conditions constituant un lot.

2.2. Des élevages bovins laitiers en agriculture biologique

Cette étude fait partie du projet Européen GrazyDaisy, en réponse à l'appel à projet CORE Organic Cofund dont les objectifs majeurs sont (i) de renforcer les programmes de recherche sur l'agriculture biologique et développer ce mode de production, (ii) développer une synergie entre les activités nationales de recherche en AB. Nous avons donc recruté uniquement des éleveurs en AB, et pratiquant l'élevage des veaux sous nourrices au pâturage. Le recrutement a été réalisé à partir de contacts obtenus auprès de différents organismes agricoles locaux comme le Groupement des Agriculteurs Biologique de Bretagne (GAB), et celui de la Loire-Atlantique (CIVAM), les Chambres d'Agriculture de Bretagne et de Pays de la Loire, les vétérinaires en contact avec l'UMR BIOEPAR, en bénéficiant du réseau de contacts des éleveurs entre eux, et en reprenant contact avec certains éleveurs qui avaient participé à deux études préalables sur l'élevage des veaux laitiers avec des vaches adultes (Michaud et al., 2018 ; Belluz, 2018). Une cinquantaine d'élevages élevant des veaux laitiers sous nourrices a ainsi pu être identifiée dans le Grand-Ouest. La conduite des veaux sous nourrices étant réalisée de la même manière dans trois zones géographiques distinctes (le Grand Ouest, le Massif central et le Grand Est) selon Michaud et al. (2018), notre choix d'effectuer nos différentes études dans le Grand-Ouest n'affecte donc pas la représentativité de nos travaux. Au final, en englobant l'ensemble des élevages ayant participé aux différentes études (première étude en 2018, puis suivis rapprochés en 2019-2020), nous avons travaillé dans une trentaine de fermes, 19 se situant à proximité de Nantes pour les suivis rapprochés. Nous avons sélectionné des élevages avec un effectif minimum de dix veaux laitiers élevés sous nourrices par an, avec une période de pâturage sous nourrices. Aucun autre critère n'a été imposé ce qui a permis d'englober une diversité de pratiques liées à cette conduite. Le tirage aléatoire des élevages n'a pas été possible en raison du faible nombre d'élevages potentiels et en raison de la nécessité d'obtenir un consentement et une adhésion forte de l'éleveur pour participer aux suivis. La proximité des élevages a permis la réalisation de visites régulières et la récolte d'informations nécessaires à l'interprétation des résultats parasitologiques (cahier de suivi reprenant le suivi individuel de chaque veau pour l'étude de la cryptosporidiose et planning de pâturage pour les strongyloses).

Cette étude inclut aussi des résultats provenant de l'installation expérimentale de l'unité de recherche INRAE ACT-ASTER de Mirecourt. Cette installation a mis en place une conduite des veaux sous nourrices similaire à celle des éleveurs qui ont participé à notre étude. Toutefois, elle est située dans les Vosges où les conditions climatiques sont différentes du Grand-Ouest ce qui pourrait avoir un impact notamment sur les résultats de l'étude sur les strongles digestifs et respiratoires. Cette particularité a pu être prise en compte par le système expert Parasit'sim qui modélise le risque parasitaire et qui ajuste les simulations en fonction du planning de pâturage et de la température journalière locale.

2.3. Une étude participative susceptible de biaiser les résultats de l'étude ?

Cette étude s'apparente aux sciences participatives par le fait que les éleveurs ont été consultés lors de l'élaboration du protocole expérimental et ont participé à la collecte des données (Haklay, 2015).

De nombreux échanges ont eu lieu avec les éleveurs au cours de nos études. Tout d'abord, les interactions étaient nombreuses lors des visites d'élevage réalisées par moi-même et/ou 3 étudiantes vétérinaire en dernière année à Oniris. Ensuite, une réunion de présentation des résultats organisée en octobre 2019 a permis un temps d'échange important permettant aux éleveurs présents (soit les deux tiers des éleveurs du suivi) d'avoir une meilleure connaissance des maladies étudiées. De plus, les éleveurs et leur vétérinaire recevaient les résultats des analyses après chaque prélèvement sur les animaux et un bilan individuel des résultats 2019 a été présenté à chaque éleveur avec une

interprétation personnalisée. Enfin, au cours du suivi, j'ai été en interaction constante avec les éleveurs. Ces interactions nombreuses et diverses ont-elles pu avoir un impact sur le résultat final ?

La première étude portant sur la description de la conduite était basée sur une enquête réalisée lors de la première visite (ou la seconde visite si l'éleveur avait participé à l'étude de 2018) et n'a donc pas pu être influencée par les nombreux échanges décrits ci-dessus. Concernant l'étude sur la cryptosporidiose, les résultats bruts transmis aux éleveurs n'apportaient pas d'information sur les facteurs de risque potentiels et la faible prévalence des diarrhées observée par les éleveurs, dans cette étude comme auparavant, suscitait peu d'inquiétudes de leur part. Ces éléments permettent de penser que les résultats de l'étude sur la cryptosporidiose n'ont pas été biaisés par ces fortes interactions éleveur-vétérinaire-expérimentateur. En revanche, l'étude concernant les strongles digestifs a soulevé davantage de questions de la part des éleveurs. Ces questions concernaient principalement l'interprétation des valeurs brutes des indicateurs (excrétion fécale et pepsinogène) qui leur étaient envoyées après analyse de chaque prélèvement. Les intervenants ont dû apporter un avis extérieur à celui du vétérinaire habituel de l'éleveur. La réalisation de cette étude a permis à chaque éleveur d'avoir des analyses parasitologiques pour chaque animal pouvant servir, si besoin, de base de décision pour un traitement des génisses à la fin de la saison de pâturage. Toutefois, les traitements anthelminthiques ont été très limités : aucun traitement n'a été réalisé durant la SP1 et la SP2 et seulement 7 lots dans 4 élevages représentant 15 % des génisses suivies ont été traitées à la rentrée en bâtiment en fin de SP1.

2.4. Une sélection d'indicateurs pour les études parasitologiques

Pour l'étude épidémiologique de la cryptosporidiose, le choix s'est porté sur une technique de coloration semi-quantitative éprouvée (Chartier et al., 2013). Toutefois, des informations plus précises auraient pu être obtenues en augmentant la sensibilité de la détection et en améliorant la quantification grâce à une technique d'immunofluorescence directe d'une part, et par un génotypage d'autre part. En effet, plusieurs espèces de *Cryptosporidium* peuvent être retrouvées chez les bovins avec des distributions liées à l'âge de l'animal et un pouvoir pathogène variable (Rieux et al., 2013). Par ailleurs, notre étude ne s'est pas étendue vers une recherche fine d'ookystes chez les adultes et dans l'environnement comme cela est par exemple réalisée dans l'étude d'Atwill et al. (1998), en raison de l'extrême lourdeur d'un tel protocole.

Concernant les SGI, le taux de pepsinogène sérique est une analyse d'une grande valeur diagnostique pour les lésions de la caillette (notamment *Ostertagia*) chez le veau lors de la SP1. Cependant, une grande variabilité du taux de pepsinogène sérique existe chez les bovins plus âgés rendant cet indicateur plus difficilement interprétable (Kerboeuf et al., 2002). De plus, malgré des efforts de standardisation, ce dosage souffre de problèmes de reproductibilité (Charlier et al., 2011). Les valeurs d'anticorps sériques anti-*Ostertagia* semblent être un bon reflet du niveau d'exposition aux SGI, dont *O. ostertagia*, pendant la SP1 (Ploeger et al., 1994 ; Dorny et al., 1999 ; Eysker et Ploeger, 2000 ; Merlin et al., 2017) et au-delà. Cependant, ce test manque de spécificité vis-à-vis d'*O. ostertagi* en raison de relations antigéniques croisées avec d'autres nématodes comme *Cooperia* voire des trématodes tels que *Fasciola hepatica* (Eysker et Ploeger, 2000). Le comptage fécal des œufs de SGI est une méthode de diagnostic largement répandue en raison de sa facilité, de sa fiabilité et de sa pertinence notamment en petits ruminants (Morgan et al., 2013 ; Takeuchi-Storm et al., 2019). Toutefois, chez les bovins, elle présente certaines limites. D'une part, les valeurs discriminantes entre les animaux sont observables uniquement deux mois après la mise à l'herbe (Shaw et al., 1998 ; Merlin et al., 2017). Et d'autre part, la relation entre la coproscopie et la charge parasitaire est beaucoup plus faible chez les bovins que chez les petits ruminants (Eysker et Ploeger, 2000). Il était donc intéressant de combiner à

la fois ces 3 indicateurs parasitaires ainsi que la gestion du pâturage pour évaluer les infestations par les SGI (Merlin et al., 2016).

Hormis le pepsinogène qui est un indicateur relativement spécifique des strongles de la caillette, les autres indicateurs renseignent globalement sur les SGI sans plus de précision. La réalisation de coprocultures par lot puis l'examen microscopique des larves ou l'identification par PCR (Höglund et al., 2013) auraient permis de distinguer les genres de SGI et de mieux appréhender la dynamique d'infestation notamment en SP1 mais ces techniques restent lourdes dans le cadre du suivi de très nombreux lots et peu précises (examen microscopique). Pour les mêmes raisons (lourdeur, imprécision) et malgré le développement de techniques d'échantillonnage allégées (Verschave et al., 2015), l'évaluation de l'infestivité des parcelles par des prélèvements d'herbe n'a pas été retenue dans cette étude en raison du très grand nombre de parcelles utilisées. Toutefois, l'outil de simulation Parasit'Sim a permis d'appréhender le nombre de générations larvaires rencontrées en fonction de l'usage des parcelles et des conditions météorologiques. D'autres indicateurs en lien avec la gestion du pâturage tels que le chargement, la fauche ou le passage d'autres groupes d'animaux (bovins immunisés voire d'autres espèces) sont connus pour influencer l'infestivité des parcelles (Almeria et al., 1996 ; O'Shaughnessy et al., 2015 ; Takeuchi-Storm et al., 2019). Cependant, nous n'avons pas pu prendre en compte ces éléments spécifiques à chaque parcelle dans notre étude, en raison de la complexité de l'information, de sa saisie et de son analyse. Enfin, outre les indicateurs parasitologiques, des indicateurs de résilience vis-à-vis des infestations par les SGI auraient pu être idéalement intégrés (GMQ, performances de reproduction) mais l'acquisition de ces données nécessite un dispositif de pesée et d'enregistrement de données réalisables plutôt en unités expérimentales.

3. Pourquoi élever des veaux laitiers avec des vaches nourrices ?

3.1. Des perceptions positives de la conduite mais peu de validation scientifique à ce jour

Au cours des travaux de cette thèse, nous avons (i) décrit la conduite des veaux sous nourrices et appréhendé les perceptions qu'ont les éleveurs dessus, et (ii) abordé la santé des veaux en s'intéressant principalement à deux parasitoses majeures durant les deux premières années de vie. Les éleveurs ont une perception globalement très positive de la conduite des veaux sous nourrices. Ces aspects positifs sont exprimés dans plusieurs domaines comme rappelé dans la **Figure 8**. Par exemple, ils ont très fréquemment perçu une amélioration de la santé des veaux. En produisant des connaissances sur la cryptosporidiose et les strongyloses chez ces veaux, nos travaux ont donc permis de confronter des données objectives à cette perception relative à la santé des veaux. Mais nous n'avons ainsi appréhendé ce système que de manière très partielle (uniquement sur le plan de la santé des veaux, et au travers de maladies, certes majeures, mais qui n'englobent pas tous les troubles sanitaires du veau). Pour étudier ce système dans sa globalité, notamment en se basant sur les perceptions des éleveurs afin de pouvoir les confirmer, infirmer, nuancer, alors plusieurs champs disciplinaires et compétences devraient être mobilisés.



Figure 8 : Domaines sur lesquels les éleveurs ont exprimé une perception positive relativement à la conduite des veaux sous nourrices.

Concernant les nourrices par exemple, les éleveurs perçoivent souvent des effets bénéfiques de la conduite sur les boiteries et les mammites, en signalant toutefois que ces vaches sont difficiles à inséminer. Ils rapportent aussi souvent des comportements d'apprentissage de la vache nourrice envers les veaux. Documenter ces perceptions nécessiterait des compétences en médecine vétérinaire, en sciences de la reproduction et en éthologie. Des compétences en matière d'appréciation objective du BEA seraient également indispensables pour mieux évaluer la perception d'amélioration du bien-être des veaux, notamment dans un contexte de forte attente sociétale sur ce sujet. Des enquêtes sociologiques pourraient aussi permettre de mieux analyser l'image que ce mode d'élevage peut avoir auprès du grand public (Busch et al., 2017).

Concernant les conditions de travail, l'organisation du travail sur la ferme et les aspects économiques, les éleveurs rapportent (i) une diminution de la charge de travail (ex : moins de paillage, curage, lavage et port de seaux) et des changements dans la nature du travail (plus de temps passé à observer les animaux), (ii) une association avec d'autres pratiques à cette méthode d'élevage des veaux (ex : monotraite, vêlages précoces), (iii) des craintes de défaut de rentabilité (car des vaches sont nourries alors que leur lait n'est pas commercialisé) contrebalancées par des gains dans d'autres domaines (ex : diminution de la période improductive des génisses, des frais vétérinaires, de la paille et des concentrés pour les veaux). Des compétences en sciences sociales et en sciences économiques seraient nécessaires pour appréhender ces aspects relatifs au travail des éleveurs et à l'impact économique de la conduite.

Au-delà des perceptions positives de cette conduite exprimée par les éleveurs, l'identification objective des forces et faiblesses de ce système pris dans sa globalité demande de nombreux travaux et des compétences très diversifiées (Kälber et Barth, 2014 ; de Oliveira et al., 2020), et il n'a donc évidemment pas été possible d'aborder tous ces aspects dans cette thèse.

3.2. Une biosécurité interne « dégradée » en bâtiment ?

La moitié de la mortalité des veaux laitiers au cours de la première année se produit dans les six premières semaines de vie (Teagasc, 2017). En élevage laitier, la pratique courante, voire la recommandation, est de séparer le veau de sa mère dès la naissance afin de contrôler d'une part le transfert de l'immunité passive et d'autre part d'éviter les contaminations précoces du veau au contact avec les adultes (Teagasc, 2017). D'autres objectifs sont évoqués à travers un bénéfice économique attendu et un choix éthique en raison d'un lien maternel encore peu développé (Flower et Weary, 2003). Au niveau sanitaire, la séparation précoce de la mère pourrait être responsable d'une réduction des risques infectieux comme par exemple ceux liés à *Cryptosporidium parvum* (Faubert et Litvinsky, 2000), *Eimeria spp.* responsable de la coccidiose (Dauguschies et Najdrowsk, 2005) ou *Mycobacterium paratuberculosis* agent de la paratuberculose (Muskens et al., 2003) car les animaux adultes excrètent ces agents pathogènes, parfois de manière accrue au moment du vêlage. Le second point du raisonnement tient à l'extrême susceptibilité du veau à la naissance (agammaglobulinémique) et au meilleur contrôle supposé du colostrum lorsqu'il est administré artificiellement.

La séparation du veau de sa mère immédiatement après la naissance est une pratique qui est à l'opposé de ce qui est réalisé dans la conduite des veaux sous nourrices. En effet, cette conduite permet une séparation mère-veau tardive et induit des contacts des veaux-veaux et veaux-vaches permanents. La biosécurité pourrait donc être considérée comme dégradée. Toutefois, l'amélioration de la santé des veaux en bâtiment est une motivation citée par les éleveurs de notre étude pour adopter l'élevage sous nourrices et les 11 éleveurs ayant notamment une forte incidence de diarrhées néonatales ont noté une nette amélioration depuis la mise en place de cette conduite.

La recommandation courante de séparer la vache et le veau immédiatement après le vêlage ne doit pas être considérée comme allant de soi car elle est basée sur des preuves contradictoires et des comparaisons erronées entre les groupes (Beaver et al., 2019).

Nous avons abordé cette question complexe au travers de l'agent pathogène le plus fréquemment retrouvé dans les diarrhées néonatales : *Cryptosporidium spp.*

3.2.1. La biosécurité interne vue au travers de la cryptosporidiose

La diarrhée néonatale est un exemple de type de maladie dite multifactorielle. Nous avons rassemblé sur la **Figure 9** les éléments les plus importants en lien avec la diffusion des agents pathogènes gastro-intestinaux (Barrington et al., 2002).

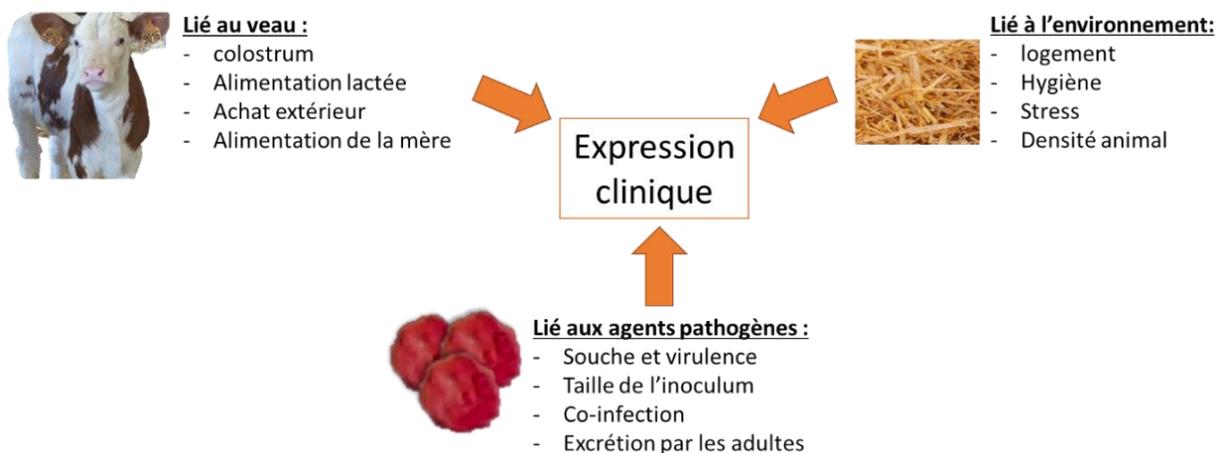


Figure 9 : Principaux facteurs liés à la diffusion des agents pathogènes gastro-intestinaux d'après Barrington et al. (2002).

3.2.1.1. Facteurs liés aux veaux

Le transfert de l'immunité passive (TIP) est un point critique en élevage bovin laitier (Barrington et al., 2002). Selon Edwards et Broom (1979), près de la moitié des veaux laitiers ne tètent pas leur mère dans les 6 heures suivant le vêlage. L'institut de recherche irlandais Teagasc (2017) recommande de séparer précocement le veau de la mère dans le but de contrôler la quantité, la qualité et le moment de l'administration du colostrum après le vêlage. Le veau doit pour cela être placé dans un endroit propre et recevoir 3 litres de colostrum, donné au biberon ou par sonde gastrique, dans les 2 heures suivant le vêlage. Le colostrum doit être prélevé le plus tôt possible après le vêlage (lors de la 1^{ère} traite) et sa qualité doit être vérifiée à l'aide d'un colostromètre ou d'un réfractomètre, l'évaluation visuelle étant très imprécise (Bartier et al., 2015 ; Abuelo et Alves-Nores, 2016). Ce même institut conseille d'alimenter le veau jusqu'à ses 2 semaines avec de petites quantités de colostrum mélangé au lait provenant des 8 premières traites pour bénéficier des autres effets bénéfiques du colostrum sur les diarrhées néonatales (Teagasc, 2017).

L'impact direct du colostrum au travers du TIP sur l'infection par *Cryptosporidium spp.* est peu probable compte tenu de la nature cellulaire de l'immunité vis-à-vis de ce parasite. Toutefois, l'effet protecteur vis-à-vis des autres agents pathogènes de diarrhée néonatales permet de limiter les co-infections qui sont des facteurs d'aggravation de l'infection par *Cryptosporidium spp.* En outre, le colostrum contient des nutriments et favorise le développement de la flore commensale, ce qui limite l'installation des agents pathogènes (Stilling et al., 2014 ; Lindsey et Moisés, 2016).

Cette complexité se retrouve dans les études épidémiologiques aboutissant à des résultats contradictoires sur l'effet du colostrum (Matoock et al., 2005 ; Trotz-Williams et al., 2007 ; Silverlås et al., 2009).

Ainsi, lorsque les veaux sont laissés sous leur mère, une surveillance accrue de la prise colostrale est indispensable pour s'assurer du bon transfert de l'immunité.

La qualité du lait, lors d'allaitement artificiel, apparait également comme un élément important dans la propagation des gastro-entérites du veau. Dans le système veaux sous nourrices étudié dans ce travail, l'allaitement artificiel va concerner en moyenne la moitié des veaux des exploitations et l'intégration de cette phase optionnelle est apparue comme un facteur de risque de l'excrétion de cryptosporidies. Il sera traité plus loin au niveau des bâtiments mais il est important de rappeler que cet allaitement en tant que tel (type d'aliment, type de distribution, hygiène) est un facteur de risque de transmission (Barrington et al., 2002).

3.2.1.2. Facteurs liés à l'agent pathogène

La vache adulte ne semble pas devoir être considérée comme un facteur important dans la transmission de *Cryptosporidium spp.* pour les veaux. Le réservoir principal de *C. parvum* est clairement le veau en raison des très fortes prévalences entre 5 et 21 jours et les niveaux d'excrétion extrêmement élevés autour du pic, responsables d'une contamination durable de l'environnement en raison de la résistance très importante du parasite (O'Handley, 2007). L'implication des vaches adultes reste controversée mais l'excrétion d'ookystes très faible (même si légèrement majorée autour de la mise bas selon Faubert et Litvinsky (2000) associée à des espèces de cryptosporidies différentes (*C. andersoni* dominante, prévalence < 1 % pour *C. parvum*) permet de considérer que la présence des adultes aux côtés des veaux n'est pas un facteur de risque s'agissant de la cryptosporidiose (Santin et al., 2004).

La taille de l'inoculum qui est l'un des éléments clés dans l'apparition de gastro-entérites néonatales (Barrington et al., 2002), dépend essentiellement des veaux excréteurs et de la contamination environnementale qui en résulte.

3.2.1.3. Facteurs liés à l'environnement

Ils sont très nombreux et regroupent des éléments liés aux locaux, à l'hygiène, à la densité d'animaux réceptifs et au stress. Il faut noter que ces éléments peuvent être très différents d'un élevage à l'autre et qu'ils peuvent également changer très rapidement au cours du temps dans un élevage donné (Barrington et al., 2002).

Contact entre les veaux et avec l'environnement

Les locaux fortement contaminés par les veaux et les veaux eux-mêmes représentent la principale source d'ookystes. Ces contacts vont être particulièrement importante dans les locaux où se produiront la phase d'allaitement artificiel, surtout si elle se fait en case collective avec des animaux d'âges différents. Les autres facteurs modulant cette contamination seront liés (i) à la densité d'animaux présents, (ii) au brassage de veaux provenant de cases différentes, et (iii) à l'hygiène et la désinfection des locaux, surfaces et ustensiles utilisés. Comme évoqué précédemment, l'allaitement artificiel dans le système de veaux sous nourrices renvoie aux facteurs de risque classiques identifiés en élevage standard.

D'autre part, la saison de vêlage qui est souvent courte, induit une plus grande densité instantanée de veaux dans le bâtiment mais peut à l'inverse permettre une longue période de vide sanitaire favorable à un assainissement des locaux. Le pâturage est naturellement protecteur vis-à-vis de la cryptosporidiose car il offre un environnement ouvert et de faible densité (Imre et al., 2015). Il peut jouer un rôle très protecteur lorsque les vêlages se déroule à l'extérieur (O'Handley, 2007).

Le stress

Le transport des animaux est une source de stress pour le jeune veau et un facteur de risque de maladies entériques au cours de sa première semaine de vie (Lindsey et Moisé, 2016). Trotz-William et al. (2007) ont aussi mentionné que les changements de logements sont un facteur de risque vis-à-vis de la cryptosporidiose. Notre étude indique aussi que laisser le veau avec sa mère est un facteur protecteur. A l'inverse, séparer le veau de sa mère en intégrant une phase l'allaitement artificiel est une source de stress pour le jeune veau avec une composante éthologique (séparation, allotement éventuel, contact avec l'homme), environnementale (locaux), nutritionnelle (nouveau type d'allaitement) qui sera associé à un inoculum plus important en raison du contact avec les autres veaux plus élevé. A l'inverse le passage direct du veau de la mère à la nourrice supprime une grande partie de ces éléments de stress et a été identifiée comme un facteur protecteur vis-à-vis de la cryptosporidiose dans notre étude.

3.2.2. Le message que doivent retenir les éleveurs : un système globalement protecteur mais avec des points d'attentions

La cryptosporidiose est une infection très commune du veau. En l'absence de traitements efficaces ou de vaccination, la prévention basée sur la maîtrise des principaux facteurs de risque représente la seule option disponible pour réduire la prévalence de cette maladie. Dans une récente méta-analyse intégrant 130 études épidémiologiques, Brainard et al. (2020) ont mis en évidence la difficulté d'obtenir des données fiables et univoques concernant les facteurs de risque et ce, en raison de la complexité des conduites et des très nombreux facteurs de confusion. Malgré ces réserves qui s'appliquent bien évidemment à notre travail, certains points d'attention peuvent être mis en avant à l'intention des éleveurs.

Le risque de cryptosporidiose doit pouvoir être réduit en laissant le veau avec sa mère dans un environnement propre, si possible à l'extérieur, jusqu'à l'adoption avec des veaux du même âge et non diarrhéiques. En ce sens, le regroupement des vêlages peut s'accompagner de vides sanitaires significatifs et de vêlage et sortie précoce au pâturage.

L'allaitement artificiel doit être évité autant que faire se peut par le biais des vêlages groupés. S'il doit être réalisé, les principes de biosécurité seront renforcés (allotement des veaux et hygiène des cases en lien avec les groupes d'adoption). Un veau diarrhéique doit pouvoir être isolé et traité de manière symptomatique.

3.2.3. La coccidiose, une parasitose à l'interface bâtiment/pâturage

Les coccidies (*Eimeria* spp.) n'ont pas été envisagées comme modèle de pathogène dans ce travail car ces infections ont une répercussion clinique essentiellement lors de l'élevage en bâtiment à un âge très variable allant de 1,5 à plus de 4 mois (Paraud et Chartier, 2012 ; Taylor et Wall, 2016) ce qui ne correspond pas précisément au mode d'élevage des veaux sous nourrices où les veaux sortent très précocement avec les adultes au pâturage à un âge moyen de 1 mois. Cependant plusieurs éléments doivent être pris en compte pour moduler cette appréciation.

Certains veaux sortent avec leur nourrice plus tardivement, jusqu'à un âge de 3 mois, notamment lors des vêlages d'hiver, ce qui pourrait permettre une infection significative à l'intérieur des locaux et des niveaux d'excrétion plus importants, voire des signes cliniques.

La sortie au pâturage précoce à quelques semaines (par rapport à 9-15 mois pour le système standard) peut en soi constituer un stress important (environnemental, alimentaire) susceptible de déclencher une coccidiose clinique à *E. bovis* ou *E. zuernii* (Marshall et al., 1998).

Une espèce de coccidie des bovins (*E. alabamensis*), bien que présente également chez des jeunes nés en bâtiment, s'acquiert principalement à l'extérieur et s'exprime cliniquement chez les veaux au pâturage, notamment quand ceux-ci pâturent les mêmes parcelles année après année (Svensson, 2000). Cette coccidiose a été décrite récemment en France (Chartier et al., 2019) et se manifeste classiquement 2 semaines après la mise à l'herbe.

Ainsi les coccidies sont un groupe de parasites à l'interface bâtiment-pâturage pour lesquels les facteurs de risque, multiples, pourraient être retrouvés dans le système des veaux sous nourrices : présence des adultes avec un rôle réservoir, contamination environnementale durant la phase bâtiment en particulier si celle-ci dépasse les 30 - 45 jours, occurrence de stress multiples dont la sortie au pâturage, risque spécifique éventuel lié à des parcelles dédiées aux couples veaux-nourrice (Dauguschies et Najdrowski, 2005). L'étude épidémiologique des coccidioses nécessiterait en revanche un suivi très serré en raison d'une période de risque étendue et des importantes fluctuations d'excrétion d'ookystes.

3.2.4. *Mycobacterium paratuberculosis*, agent de la paratuberculose des ruminants, une transmission facilitée par le contact jeunes/adultes ?

La paratuberculose (appelé aussi maladie de Johne) est provoquée par le bacille *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP). Cette entérite chronique contagieuse et incurable est responsable de diarrhées profuses et d'un amaigrissement sévère visible sur les adultes à partir de 2 ans, souvent après un vêlage ou un stress. En élevage bovin laitier, il est largement admis que le principal facteur de risque de développer la maladie à l'âge adulte est l'exposition précoce des veaux à des inoculum infectieux, la probabilité de développer des lésions intestinales étant d'autant plus grande que le contact avec MAP est précoce, avec pour corollaire la recommandation de séparer les futures génisses de renouvellement dans les 12-24 heures après le vêlage et de les séparer du troupeau adulte jusqu'à leur 12 mois (Windsor et Wellington, 2010). Ainsi, le mode d'élevage des veaux sous nourrices au travers du contact permanent entre les jeunes veaux et l'environnement des adultes pourrait constituer une conduite à risque à l'égard de la transmission de MAP et cette inquiétude a été mentionnée par de nombreux auteurs (Tavornpanich et al., 2008 ; Pillars et al., 2011 ; Donat et al.,

2016 ; Beaver et al., 2019). Toutefois, les travaux d'épidémiologie récents montrent une situation plus complexe avec la mise en évidence et le rôle probable d'animaux super-excréteurs tandis que les études expérimentales sur les jeunes revisitent la question de la sensibilité en fonction de l'âge, l'excrétion fécale des jeunes et la transmission entre jeunes (McAloon et al., 2019). Par ailleurs, une importante méta-analyse sur les effets sanitaires de la séparation précoce des veaux de leur mère en élevage laitier ne permet pas de conclure à un risque accru de paratuberculose lors du contact mère-veau (Beaver et al., 2019).

3.3. Le maintien des adultes avec les jeunes au pâturage : une conduite à risque vis-à-vis des strongles ?

3.3.1. Les recommandations usuelles concernant la maîtrise du parasitisme des génisses laitières au pâturage

En ce qui concerne l'élevage classique des génisses laitières, les recommandations usuelles indiquent que la sortie au pâturage est possible vers l'âge de 6 mois (correspondant à un poids de 180-200 kg) en déconseillant le mélange de générations ou le déprimage par des animaux plus âgés (Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2013).

Or, la conduite des veaux sous nourrice implique une mise à l'herbe des veaux à 1 mois en moyenne avec un mélange de générations puisque les veaux pâturent avec leurs nourrices à raison de 2-3 veaux par nourrice en moyenne. Les génisses en SP2 peuvent aussi être mélangées à des bovins d'autres générations (vaches laitières, vaches taries, veaux de SP1). La conduite des veaux sous nourrices irait donc à l'encontre des recommandations visant à maîtriser les facteurs de risque d'infestation. Pourtant, les résultats de cette étude ne démontrent pas que les risques d'infestation sont augmentés de manière univoque, au contraire. De plus, les éleveurs de notre étude indiquent « bien gérer le parasitisme » et avoir réduit l'utilisation d'anthelminthiques depuis la mise en place de ce système d'élevage des veaux. Concernant l'infestation par les SGI, de manière synthétique, 3 cas de figure, avec des dynamiques d'infestation différentes, semblaient émerger. Ces 3 cas sont développés dans le paragraphe suivant.

3.3.2. Infestation par les strongles gastro-intestinaux : 3 cas de figure à considérer

La **Figure 10** ci-dessous décrit la SP1 et SP2 dans trois cas de figure : une longue SP1 pour les veaux nés en hiver et au printemps (**cas 1**), une très courte SP1 pour les veaux nés en automne (**cas 3**), et une SP1 de durée intermédiaire pour les veaux principalement nés en été (**cas 2**). Cette **figure 10** présente aussi comment peuvent évoluer, dans ces 3 cas de figure, trois facteurs influençant fortement l'infestation des animaux en SP1 et en SP2 : l'infestivité des parcelles, l'alimentation lactée en SP1 et le développement de l'immunité anti-SGI.

Voyons au travers de ces 3 cas de figure comment ce système permet globalement une faible infestation des veaux en SP1 mais peut conduire à une exposition élevée durant la SP2.

Cas 1 :

Plus de la moitié des lots suivis (n = 43) provenaient d'élevages où les périodes de vèlages étaient synchronisées avec la pousse de l'herbe pour optimiser l'utilisation du pâturage. Dans ces élevages, la saison de vèlage s'étend de janvier à mai et la mise à l'herbe de février à fin mai. Ainsi, à la suite de leur adoption, les veaux sont mis à l'herbe entre 1 et 1,5 mois en moyenne, dès que les conditions météorologiques permettent leur sortie. Ils sont alors exposés aux larves transhivernantes, cette contamination résiduelle des parcelles étant plus ou moins importante en fonction de la date de mise à l'herbe, de l'utilisation de la parcelle à l'automne précédent, et de la durée de repos hivernal (qui peut être faible dans ces élevages très pâturants). Pendant les deux mois qui suivent (jusqu'aux 3 mois

du veau environ), les veaux ont une alimentation lactée majoritaire qui limite l'ingestion de larves. Toutefois, le ratio alimentation lactée/herbe peut présenter une certaine variabilité et se traduire par des niveaux d'infestation plus ou moins importants. L'ingestion des larves par les nourrices participe à l'assainissement des parcelles. Cet effet de dilution, d'abord très fort en raison de la faible excrétion des veaux, peut devenir plus faible ensuite car au cours de cette longue SP1 les veaux mangent de plus en plus d'herbe, s'infestent plus et excrètent plus. L'infestivité des parcelles va donc tout de même augmenter, et cette exposition aux SGI va donc permettre aux veaux de commencer à s'immuniser. Une partie des lots (n = 14) est sevrée au cours de la saison de pâturage et ces veaux ont une période de pâturage post-sevrage d'en moyenne 90 jours. Nous n'avons pas observé d'augmentation marquée de l'infestation en lien avec cette période de pâturage post-sevrage, ceci pouvant s'expliquer par une immunité déjà partiellement installée avec l'utilisation de parcelles alors peu contaminées. Le recueil de données plus précises sur l'utilisation des parcelles en post-sevrage permettrait d'approfondir ce point. Lorsque ces animaux sont remis à l'herbe en SP2, l'immunité acquise en SP1 permet d'emblée un contrôle de l'excrétion fécale et la poursuite du développement de cette immunité doit permettre un contrôle du recyclage des SGI (moins d'excrétion, moins de développement des larves, puis moins d'installation des L3).

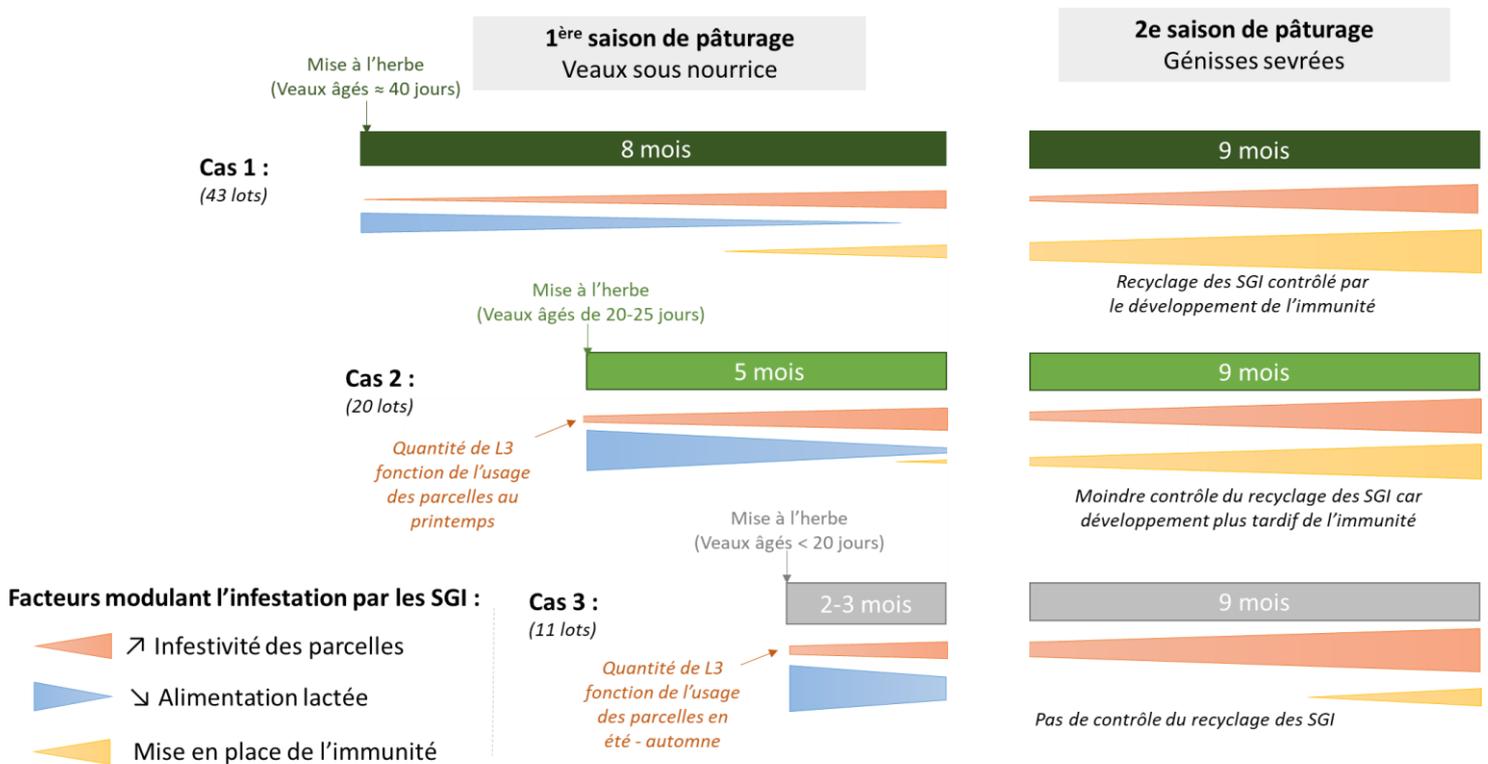


Figure 10 : Evolution de l'intensité des facteurs modulant l'infestation par les SGI au cours de la première et de la deuxième saison de pâturage dans 3 cas de figure retrouvés dans la conduite des veaux sous nourrice : longue SP1 suivie d'une longue SP2 (en vert foncé), SP1 de durée moyenne suivie d'une longue SP2 (en vert clair), très courte SP1 suivie d'une longue SP2 (en gris).

Cas 2 :

Les veaux nés entre mai et juillet sont mis à l'herbe dès l'adoption terminée, et sortent plus jeunes que les veaux du 1^{er} cas car les conditions météorologiques ne constituent alors pas un frein à la mise à l'herbe. La contamination résiduelle par les larves transhivernantes est à ce moment-là négligeable, mais l'infestivité des parcelles est très variable selon l'historique :

- Infestivité très faible si la parcelle est considérée comme saine (ex : non pâturée jusque-là puis fauchée),
- Infestivité faible si la parcelle a été pâturée par des animaux immuns (ex : vaches tarées),
- Infestivité plus forte si ces veaux rejoignent des lots de veaux sortis plus tôt (les veaux du cas 1) qui sont alors au moment de leur pic d'excrétion fécale.

Cependant, ces veaux sont jeunes lors de la mise à l'herbe (20-25 jours), la part d'alimentation lactée est donc majoritaire pendant 3 mois sur les 5 mois de cette SP1. De plus, leur mise à l'herbe peut se faire alors que les conditions météorologiques estivales sont peu favorables à la survie des larves ce qui peut d'autant plus moduler l'infestation des veaux, surtout si du fourrage est apporté en complément sur la parcelle pour les nourrices.

Ces veaux ne développeraient donc que peu d'immunité lors de leur SP1, et en SP2 le contrôle du recyclage serait donc moindre que celui des lots du cas 1, avec un taux d'installation des parasites encore probablement élevé durant la SP2.

Cas 3 :

Les veaux qui naissent plus tardivement (fin d'été et début d'automne), sont mis à l'herbe très jeunes (< 20 jours) et ont une SP1 de très courte durée. Comme pour les veaux du cas 2, l'infestivité des parcelles peut alors être très variable lorsqu'ils sortent puisqu'elle dépendra de l'utilisation des parcelles en question pendant les mois précédents. Toutefois, durant cette SP1, l'infestation par les SGI est négligeable en raison d'une forte alimentation lactée et d'une faible durée de pâturage. L'immunité anti-SGI ne se développe pas et ces animaux, lors de leur SP2 vont donc avoir des niveaux d'infestation semblables en tous points à ceux subis par des animaux qui sortent pour la première fois au pâturage.

Au bilan, les infestations de SP2, comme en système d'élevage classique, sont fortement liées à l'historique d'infestation en SP1. L'infestation en SP2 pourrait aussi être affectée par des pratiques très diversifiées que nous n'avons pas pu analyser vu leur complexité et leur instabilité dans le temps : pâturage des génisses en SP2 avec les vaches tarées, le troupeau laitier, ou des veaux sous nourrices pendant des périodes plus ou moins longues.

Le cas 1 permettrait d'obtenir l'équilibre théoriquement recherché dans la maîtrise de l'infestation par les SGI (Armour, 1982) : une longue SP1 en présence des nourrices autoriserait un contact avec les parasites pour le développement de l'immunité tout en maîtrisant le niveau d'exposition grâce à l'effet de dilution, puis une SP2 sans recyclage important au début de la saison. Grâce à la présence des nourrices en SP1, nos résultats suggèrent qu'il est plus intéressant d'avoir une longue SP1 pour être moins exposé durant la SP2. Par ailleurs, si l'on ne considère que la SP1, celle-ci se présente, malgré la diversité des situations, comme un système globalement à l'équilibre entre l'infestivité des parcelles, l'ingestion d'herbe, l'établissement de l'immunité et le phénomène de dilution. En élevage standard, Merlin et al. (2016) ont défini 3 niveaux d'exposition pour la SP1 qui associaient la date de sortie, la durée de pâturage et la supplémentation. Le risque maximum était rencontré par exemple pour une sortie précoce, une longue durée de pâturage et une absence de supplémentation. Dans le système sous nourrices, pour la SP1, les interactions font que les risques ne se cumulent pas mais tendent à se neutraliser : les longues durées de pâturage s'accompagnent d'un contact progressif avec les L3, les sorties à un jeune âge et/ou en mi-saison ont un risque tempéré par l'alimentation lactée dominante. Il n'est ainsi pas possible de définir un risque d'exposition simple comme dans le cas des génisses sevrées en SP1. Les principaux éléments de risque devraient intégrer des données plus complexes liées notamment à la dilution (ratio veau/vache) et à la gestion des parcelles (infestivité).

3.3.2.1. Une conduite s'adaptant bien à l'agriculture biologique

Cette conduite s'adapte aussi parfaitement au système biologique très pâturant tout en limitant l'utilisation des anthelminthiques. En effet, les éleveurs n'ont réalisé aucun traitement au cours de la saison de pâturage, bien qu'entre la SP1 et la SP2, 4 éleveurs (soit 7 lots) ont traité sélectivement leurs génisses (15% des génisses traitées sur l'ensemble de l'étude). La conduite des veaux sous nourrice, ou *a minima* la présence d'adultes parmi les veaux à un ratio équivalent à celui des lots que l'on a suivis, permettrait donc de limiter l'utilisation d'anthelminthique et pourrait être une réponse à la lutte actuelle contre la résistance des parasites à ces molécules. La conduite pourrait donc satisfaire la demande d'autres éleveurs biologiques qui souhaitent limiter autant que possible l'utilisation des anthelminthiques (Charlier et al., 2018). Par ailleurs, la conduite des veaux sous nourrices permet de mettre rapidement les veaux au pâturage répondant ainsi à la nouvelle application du règlement de l'AB qui demande que tous les veaux de plus d'une semaine aient un accès extérieur dès que les conditions météorologiques le permettent.

3.3.2.2. Les messages à retenir pour les éleveurs

La présence des nourrices au pâturage permet de réduire l'infestivité des parcelles par les SGI par l'effet de dilution. Le couplage de cette conduite à des pratiques de pâturage considérées comme protectrice vis-à-vis des SGI (ex : pâturage après fauche) devraient garantir un faible niveau d'infestation en SP1. Par ailleurs, les vêlages groupés de fin d'hiver et début de printemps avec une mise à l'herbe des veaux en une seule fois sont à privilégier. Il convient de rester très vigilant en SP2 pour les génisses ayant eu une courte SP1. En cas de doute, il peut être intéressant de faire un bilan parasitaire en cours ou en fin de saison de pâturage pour évaluer l'infestation des génisses et les traiter sélectivement si nécessaire.

3.3.3. La dictyocaulose

La dictyocaulose a été suivie pendant la SP1 chez les veaux et leurs nourrices en 2019. Les ¾ des lots de veaux sous nourrices avaient au moins un animal positif à l'ELISA anti-*dictyocaulus* en fin de saison de pâturage. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Schnieder et al. (1993) en élevage laitier classique. Toutefois, des larves de *dictyocaulus* ont été détectées uniquement chez 4 veaux du même lot en fin de saison de pâturage et la toux a peu été enregistrée (6 % des enregistrements positifs). Cette faible proportion de toux, qui augmente au cours de la saison, ne correspond pas à l'évolution classique des signes cliniques de la dictyocaulose (caractérisée par un pic au cours de la saison de pâturage) et ne semble pas être provoqué par les dictyocaulos. Par ailleurs aucun autre signe clinique telle qu'une perte de l'état corporel, une diminution de la croissance ou des signes cliniques de détresse respiratoire (Schnieder et al. 1993) n'a été signalé par les éleveurs.

Le pourcentage de veaux positifs était plus élevé chez les veaux qui avaient une saison de pâturage plus longue. Cela peut être dû au contact prolongé avec le parasite. Or les larves de dictyocaulos sont sensibles aux conditions climatiques et ont un taux de mortalité élevé au printemps. De plus, l'été très chaud de 2019 a pu causer la mortalité d'une partie de ces larves (Eysker et al., 1994). La conduite du pâturage a donc aussi une importance majeure dans l'épidémiologie de cette maladie.

Par ailleurs, moins de 10 % des nourrices étaient positives en fin de saison de pâturage alors que près de la moitié des veaux l'étaient. Cela semble indiquer que malgré la présence des veaux excréteurs, l'infestivité des parcelles n'est pas suffisante pour surpasser l'immunité des vaches nourrices. La conduite des veaux sous nourrices pourrait donc permettre le contact du veau et du parasite dans les fermes infestées. L'infestivité des parcelles semble permettre aux veaux de s'infester sans avoir de signes cliniques grâce à l'effet dilution des nourrices et à la bonne gestion du pâturage. Cela permet d'éviter la contamination des primipares lors de leur rentrée dans le troupeau ; ceci pourrait provoquer

des signes cliniques sur les primipares qui excrètent alors fortement et pourrait dépasser l'immunité des vaches laitières. La conduite des veaux sous nourrices permettrait aux veaux de s'immuniser avant de rentrer dans le troupeau laitier, surtout lorsque les parcelles des veaux et les parcelles des vaches laitières sont séparées. Les élevages où les animaux sont positifs à cette maladie, nécessiteront une observation accrue des animaux et une bonne gestion du pâturage afin de s'assurer que l'immunité des veaux s'acquière sans signe clinique risquant de dépasser l'immunité des vaches nourrices.

4. Perspective d'application

4.1. Evolution spatio-temporelle de la conduite et généralisation de l'étude

Selon l'enquête de Michaud et al. (2018), la conduite des veaux sous nourrices est réalisée de la même manière dans trois grandes zones géographiques de France (Grand Ouest, Massif Central et Grand Est). A partir de ce constat, nous pouvons penser que les résultats de notre étude réalisée dans le Grand Ouest sont généralisables à l'ensemble du territoire national. Toutefois, les conditions climatiques et la gestion du pâturage ont aussi un impact important sur l'épidémiologie des strongles. Or, ce sont deux facteurs qui peuvent fortement varier d'une région à une autre. Ainsi, on peut supposer que l'effet de dilution soit majoré (par rapport à celui ayant contribué à nos résultats) sous des climats peu favorables à la survie des larves, ou au contraire minoré sous des climats très favorables à la survie et à la dispersion des larves. De même, la dictyocaulose a une prévalence plus importante dans les zones humides et tempérées. En toute rigueur, nos résultats sont donc généralisables dans le même type de climat tempéré océanique avec une conduite au pâturage similaire. Concernant la cryptosporidiose, l'environnement est aussi important dans l'épidémiologie de la maladie. Toutefois, contrairement aux strongles, les ookystes de *Cryptosporidium* sont très résistants dans l'environnement et la cryptosporidiose est principalement présente en bâtiment. La localisation géographique ne doit donc avoir que peu d'impact sur cette maladie.

La conduite des veaux sous nourrices semble être principalement réalisée dans des systèmes pâturants, en AB. Nos résultats resteraient valables en système conventionnel (ou avec un autre cahier des charge) dès lors que l'accès au pâturage est comparable à celui de notre population d'étude. En revanche, la conduite des veaux sous nourrices est très différente de la conduite des veaux sous la mère lorsque cette dernière est réalisée en bâtiment jusqu'au sevrage. Les résultats des 2 parasitoses de cette étude ne sont donc pas généralisables à ce système d'élevage.

La conduite des veaux sous nourrices est réalisée en France par des éleveurs pionniers puisque moins de 2,5 % des éleveurs laitiers de la zone étudiée la réalisent (Rogers, 2003). Lors de sa transmission, les éleveurs adaptent régulièrement les pratiques de cette conduite à l'organisation de leur propre ferme. Notre étude observationnelle a permis de prendre en compte cette variabilité inter-élevage, ce qui peut faciliter la généralisation de nos résultats. Cependant, il est possible que les résultats de cette étude ne soient plus applicables si la conduite évolue de manière plus importante.

4.2. La communication des résultats au sein de l'étude

Trois articles scientifiques ont été écrits au cours de cette thèse. L'**article 1** a été accepté dans le journal *Preventive Veterinary Medicine*, l'**article 2** a été soumis au journal *Frontier in Animal Sciences* et l'**article 3** a été soumis au journal *Veterinary Parasitology*. Des communications orales portant sur l'ensemble des résultats de la thèse ont été réalisées lors de congrès internationaux. Durant le congrès

mondial de l'AB deux communications orales ont été présentés à la pré-conférence (IAHA) en 2020, et une troisième présentation orale a été présentée lors de la conférence (IFOAM) en 2021. Une présentation orale a aussi été réalisée au projet COST Combar en 2020 ainsi qu'aux Journées Rencontres autour des recherches sur les Ruminants (3R) en 2020. Des présentations orales et des documents écrits ont aussi été présentés dans le cadre du projet européen CORE Organic GrazyDaisy.

Ce travail de thèse a aussi été communiqué aux vétérinaires à travers un article dans la revue *Le nouveau praticien vétérinaire* (NEVA) en 2020. Il sera présenté au congrès national des vétérinaires (SNGVT) en 2022.

Les résultats de la thèse ont aussi été largement présentés aux éleveurs et aux acteurs présents sur le terrain via plusieurs supports de communications. Des réunions de restitution des résultats de l'étude ont été organisées en 2018, 2019 et 2021. Durant ces journées, un temps important a été réservé aux échanges. Une présentation de l'étude sur 4 pages reprenant les résultats avait été distribuée lors de ces réunions. En plus de ces journées de restitutions, les résultats individuels étaient envoyés aux éleveurs au fur à mesure de l'étude. Un bilan interprétant les résultats de la ferme par rapport aux valeurs moyennes de l'étude leur a aussi été présenté au début de l'année 2020.

Les résultats de la thèse seront aussi présentés au SPACE en septembre 2021. Une série de 6 courtes vidéos destinées au grand public, présentant la conduite et les résultats de l'étude est en cours de montage et sera déposée sur les sites d'hébergement de médias sociaux. La moitié des éleveurs participant à l'étude ont accepté d'être interviewés dans leur ferme à cette occasion. J'ai aussi beaucoup interagi avec des groupes d'échange d'éleveurs locaux, la Chambre d'Agriculture de Bretagne, des entreprises et associations locales. La présentation au 3R a été relayée dans les revues Réussir lait, Grand troupeau magazine, Terra, et par la Chambre d'Agriculture de Bretagne. Deux sites internet ont aussi repris les résultats de cette étude : Web agri et Mon cultivar élevage. Un livre sur les vêlages groupés écrit par l'un des éleveurs du projet va paraître au cours de l'été reprenant une partie des résultats.

4.3. Acceptabilité et mise en pratique des résultats de cette étude

4.3.1. Par les éleveurs

Les résultats de la thèse relatifs à la cryptosporidiose et aux strongyloses vont dans le même sens que ceux rapportés très souvent les éleveurs (faible fréquence des diarrhées néonatales et ressenti de bonne gestion du parasitisme au pâturage avec peu d'usage des anthelminthiques). Cette concordance entre données scientifiques et perceptions initiales facilite l'acceptabilité des résultats de l'étude. De plus, les nombreuses diffusions de l'étude sur différents canaux de communication (cf. partie 4.2.) permettront aux éleveurs d'accéder aux principaux résultats. Ils pourront avoir une vision globale des pratiques de la conduite et aussi connaître des différents points d'attention vis-à-vis de la cryptosporidiose et des SGI.

Les éleveurs pourront aussi s'appuyer sur ces résultats pour promouvoir la conduite sur le plan sanitaire. La grande majorité des éleveurs qui ont intégré l'étude participe à des groupes d'échange et reçoit régulièrement dans leur ferme d'autres agriculteurs désireux de mettre en place la conduite des veaux sous nourrices. Ces agriculteurs pourront dorénavant s'appuyer sur nos résultats pour répondre à leurs interrogations.

4.3.2. Par la société

Les résultats de cette thèse ont mis en évidence que cette conduite permet globalement de diminuer les risques vis-à-vis de deux parasitoses majeures des veaux. Cette conduite peut donc s'accompagner

d'un moindre usage des traitements allopathiques, ce qui est en accord avec une demande sociétale forte de réduction des intrants chimiques en élevage (Charlier et al., 2018).

D'autre part, la conduite des veaux sous nourrices implique une séparation entre le veau et sa mère ce qui n'est pas bien perçu par la société (Placzek et al., 2021). Cependant, cette conduite permet au veau d'être au contact de ses congénères et de réaliser les comportements naturels de son espèce (Vaarst et al., 2001). De plus, le veau est rapidement mis à l'herbe, ce qui est aussi bien perçu (Placzek et al., 2021). Cette conduite s'inscrit dans la transition agroécologique en répondant au critère indiqué par Dumont et al. (2019) qui est soutenue par la société.

Les méthodologies, détaillées par Ferneborg et al. (2020) pourraient être utilisées pour étudier le comportement des consommateurs vis-à-vis de ce système. Des living Lab permettant des échanges avec tous les acteurs (éleveurs, vétérinaires, consommateurs, citoyens, ...) pourraient aussi être une solution qui permettrait d'identifier les attentes de chaque partie prenante et trouver des solutions communes de la conduite des veaux (Bergvall-Kareborn et Ståhlbröst, 2009).

5. Perspectives de recherche : inclure la vache nourrice dans l'étude du système

Dans les travaux de cette thèse relative à la conduite des veaux sous nourrice, notre principal objet d'étude a été le veau. Toutefois, de nombreuses questions se posent concernant, la santé, le bien-être et les performances des vaches adultes utilisées comme nourrices dans ce système.

5.1. Les vaches nourrices : des animaux fortement sollicités

Les vaches nourrices semblent produire plus de lait qu'une vache laitière traite classiquement (Kälber et Barth, 2014). Elles ont donc besoin d'avoir une ration alimentaire qui répond à leurs besoins physiologiques pour pouvoir produire du lait sans perdre de l'état, selon la théorie de l'allocation des nutriments (Friggens et Newbold, 2007). Or, la vache nourrice est souvent mise au pâturage sans complémentation et peut avoir une ration moins importante que celles du troupeau laitier. Les nourrices peuvent donc perdre de l'état voire être trop maigres au tarissement - ce qui a été rapporté par certains éleveurs de l'étude. Pour pallier cela, certains éleveurs complémentent les nourrices en leur donnant une ration identique à celle des vaches laitières. Au sein de notre étude, les nourrices avaient été pesées lors des 4 visites de 2019 : une faible augmentation de poids (en moyenne de 114 g/ jours) avait été observée durant toute la saison de pâturage mais avec une forte variabilité (écart type de 500 g/jour).

Dans le but d'éviter une trop grande fragilisation des vaches nourrices, il serait intéressant d'évaluer quels sont les facteurs pouvant influencer leur robustesse, ces facteurs pouvant être génétiques et/ou zootechniques, par exemple : la race de la nourrice, le nombre de veaux par nourrice, la parité de la nourrice, le stade de lactation lors de l'adoption, le niveau de production lors de la lactation précédant le passage en vache nourrice, l'âge au sevrage, la complémentation et bien sûr les critères de sélection comme nourrice.

5.2. Le réel impact de l'infestation par les SGI est très difficile à évaluer chez les vaches nourrices

Les vaches laitières dont les besoins nutritionnels ne sont pas satisfaits peuvent pâtir de l'infestation par les SGI (Barger, 1993). L'excrétion fécale est restée faible chez les nourrices, indiquant une stabilité de l'immunité (Gasbarre et al., 1990) mais les valeurs de pepsinogène et de RDO *Ostertagia* ont montré des valeurs élevées, bien que l'interprétation de ces chiffres soit délicate chez les animaux adultes car non reliées à la charge parasitaire (Agneessens et al., 2000). Afin de mieux évaluer les niveaux d'infestation par les SGI chez les nourrices, il serait intéressant de quantifier en abattoir les parasites et les lésions causées par *Ostertagia* dans leur caillette. Mais ces études d'abattoir sont très lourdes à mettre en œuvre, et nécessiteraient énormément de temps pour pouvoir accumuler des données sur un grand nombre de nourrices sachant que peu d'élevages mettent en œuvre cette conduite et que les nourrices ne sont pas obligatoirement réformées après le sevrage.

Une évaluation de la résilience des nourrices aux SGI pourrait être envisagée de manière alternative via un traitement anthelminthique d'une partie des nourrices et une comparaison avec des nourrices non traitées. Des comparaisons de GMQ et d'état corporel pourraient être réalisées. La réponse en termes de production laitière serait très intéressante à évaluer mais se heurte à des problèmes méthodologiques : consommation par les veaux, mesure de GMQ sur ces veaux... Mais les éleveurs indiquent souvent que les veaux ne tètent pas que la nourrice qui leur a été initialement attribuée, et, de surcroît le GMQ des veaux est aussi dépendant de la quantité d'herbe ingérée. Le dispositif expérimental permettant d'explorer la résilience des nourrices aux SGI serait donc très complexe à mettre en place en ferme commerciale.

Il serait aussi intéressant d'étudier plus en détail l'infestivité des parcelles notamment (i) lors de la mise à l'herbe (car ce système très pâturant induit un repos hivernal court voire absent) et (ii) en cours de saison de pâturage (pour tenter d'identifier à partir de quel moment l'effet de dilution s'amointrit en raison d'un recyclage via les veaux de plus en plus intense). La modélisation de l'utilisation des parcelles sur plusieurs années en prenant en compte le chargement, l'humidité et l'historique de chaque parcelle serait idéal pour analyser plus finement l'exposition des veaux sous nourrices aux SGI. Le modèle présenté par Berk et al. (2016) prend en compte dans ces modèles les traitements ciblés sélectifs ou celui de (Rose Vineer et al., 2020) qui prend en compte les dynamiques saisonnières d'*Ostertagia ostertagi* et de *Cooperia oncophora* pourraient être utilisés. Des prélèvements d'herbes et comptages larvaires sur les parcelles sont également à envisager mais nécessitent un protocole lourd à mettre en place et ont comme défaut majeur que l'on ne connaît pas l'incertitude de mesure de ce comptage.

5.3. Des vaches nourrices difficiles à inséminer ?

Plusieurs éleveurs rapportent qu'il est difficile d'inséminer les vaches nourrices. Cela pourrait être dû à l'état corporel des nourrices. D'un point de vue pratique, les nourrices sont souvent sélectionnées en début de lactation. Les inséminer artificiellement nécessite de les rentrer en bâtiment ce qui est chronophage pour l'éleveur. Pour cette raison, les éleveurs utilisent majoritairement des taureaux. Cependant, cela rend la reproduction plus difficile à suivre. Certains éleveurs n'inséminent pas les vaches nourrices car elles seront réformées par la suite. D'autres éleveurs inséminent les vaches nourrices avant de faire adopter des veaux. Il serait intéressant de quantifier plus en détail les performances de reproduction des nourrices comme le souligne aussi de Oliveira et al. (2020).

5.4. Un effet curatif sur les boiteries ?

Certaines nourrices sont sélectionnées parce qu'elles boitent et que l'éleveur envisage de solutionner le problème en sortant la vache du troupeau en lactation. En effet, le pâturage offre une surface plus confortable que le sol en bâtiment ce qui permet aux vaches de se rétablir (Hernandez-Mendo et al., 2007 ; Chapinal et al., 2013). De plus, les vaches nourrices n'ont plus besoin de se rendre jusqu'à la salle de traite tous les jours ce qui participerait à l'effet curatif sur les boiteries. Il serait intéressant de quantifier la guérison des boiteries lorsque les vaches avec des boiteries est sélectionnée comme nourrice, notamment en notant la démarche des vaches nourrices de la mise à l'herbe au sevrage et en faisant appel à un pareur pour quantifier les lésions des pieds au début et à la fin de la saison de pâturage.

5.5. Un effet sur la santé de la mamelle ?

Certains éleveurs de l'étude se demandent si la tétée des veaux peut avoir un effet curatif sur les vaches nourrices atteintes de mammites subcliniques. La revue de Beaver et al., (2019) indique un effet bénéfique de l'allaitement sur les mammites conformément aux conclusions de Johnsen et al. (2016). Cet effet semble plus important au début de la lactation (Kälber et Barth, 2014). Outre les avantages de la succion pour éliminer le lait résiduel de la mamelle, la réduction de mammites subcliniques pourrait être attribuée aux lysozymes d'inhibition bactérienne présentes dans la salive des veaux (Mdegela et al., 2004). Il serait intéressant de quantifier l'effet de la conduite sur les mammites subcliniques en réalisant des analyses microbiologiques et des comptages de cellules somatiques juste avant l'adoption et durant toute la période d'allaitement.

Références :

- Abuelo A., Alves-Nores V., 2016. Point-of-care testing in cattle practice: reliability of cow-side diagnostic tests. *In Pract.* 38, 293– 302. <https://doi.org/10.1136/inp.i2704>
- Agneessens J., Claerebout E., Dorny P., Borgsteede F.H.M., Vercruyse J., 2000. Nematode parasitism in adult dairy cows in Belgium. *Vet. Parasitol.* 90, 83-92.
- Almería S., Llorente M.M., Uriarte J., 1996. Monthly fluctuations of worm burdens and hypobiosis of gastrointestinal nematodes of calves in extensive management systems in the Pyrenees (Spain). *Vet. Parasitol.* 67, 225–236. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01037-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01037-0)
- Armour J. 1982. An approach to the epidemiology of helminthiasis in grazing ruminants. In: *Nuclear Techniques in the Study of Parasitic Infections*, International Atomic Energy Agency, Vienna. 367-377.
- Atwill E.R., Harp J.A., Jones T., Jardon P.W., Checél S., Zylstra M., 1998. Evaluation of periparturient dairy cows and contact surfaces as a reservoir of *Cryptosporidium parvum* for calfhood infection. *Am. J. Vet. Res.* 59, 1116–1121.
- Barger I., 1993. Influence of sex and reproductive status on susceptibility of ruminants to nematode parasitism. *International Journal of Parasitology* 23, 463–469.
- Barrington G.M., Gay J.M., Evermann J.F., 2002. Biosecurity for neonatal gastrointestinal diseases. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 18, 7–34. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00005-1).
- Bartier A.L., Windeyer M.C., Doepel L., 2015. Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement. *J. Dairy Sci.* 98 (3), 1878-84. doi: 10.3168/jds.2014-8415
- Beaver A., Meagher R.K., von Keyserlingk M.A.G., Weary D.M., 2019. Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. *J. Dairy Sci.* 102, 5784–5810. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603>
- Belluz M., 2018. L'élevage des veaux laitiers par des vaches adultes, une technique innovante en élevage biologique. Mémoire de fin d'étude, VetAgro-Sup, pp. 40.
- Bergvall-Kåreborn B., Ståhlbröst A., 2009. Living Lab: an open and citizen-centric approach for innovation. *Int. J. Innov. Regional Dev.* 1, 356-370.
- Berk Z., Laurenson Y.C.S.M., Forbes A.B., Kyriazakis I., 2016. Modelling the consequences of targeted selective treatment strategies on performance and emergence of anthelmintic resistance amongst grazing calves. *Int. J. Parasitol. Drug Resist.* 6, 258-271.
- Busch G., Weary D.M., Spiller A., Von Keyserlingk M.A.G., 2017. American and German attitudes towards cowcalf separation on dairy farms. *PLoS One* 12, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174013>
- Chambre d'agriculture des Pays de la Loire. 2013. Réussir l'élevage des génisses laitières, de la naissance au vêlage. pp. 75.
- Chapinal N., Barrientos A.K., von Keyserlingk M.A., Galo E., Weary D.M., 2013. Herd-level risk factors for lameness in freestall farms in the northeastern United States and California. *J. Dairy Sci.* 96(1), 318-28. doi: 10.3168/jds.2012-5940. Epub 2012 Nov 8. PMID: 23141819.
- Charlier J., Dorny P., Levecke B., 2011. Serum pepsinogen levels to monitor gastrointestinal nematode infections in cattle revisited. *Research in Veterinary Science* 90, 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.06.029>

- Charlier J., Thamsborg S.M., Bartley D.J., Skuce P.J., Kenyon F., Geurden T., Hoste H., Williams A.R., Sotiraki S., Höglund J., Chartier C., Geldhof P., van Dijk J., Rinaldi L., Morgan E.R., von Samson-Himmelstjerna G., Vercruyse J., Claerebout E., 2018. Mind the gaps in research on the control of gastrointestinal nematodes of farmed ruminants and pigs. *Transbound. Emerg. Dis.* 65, 217–234. <https://doi.org/10.1111/tbed.12707>
- Chartier C., Rieux A., Delafosse A., Lehebel A., Paraud C., 2013. Detection of *Cryptosporidium* oocysts in fresh calf faeces: Characteristics of two simple tests and evaluation of a semi-quantitative approach. *Vet. J.* 198, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.06.011>
- Chartier C., Ravinet N., Maytie B., Chauvin A. 2019. Etude de cas – Coccidiose clinique à *Eimeria alabamensis* chez des veaux allaitants. *LE NOUVEAU PRATICIEN VÉTÉRINAIRE* 11(43), 53 – 58.
- Dauguschies A. Najdrowski M., 2005. Eimeriosis in cattle Current understanding. *J. Vet. Med.*, 52, 417-427.
- de Oliveira D., Barth K., Haskell M.J., Hillmann E., Jensen M.B., Johnsen J.F., Mejdell C.M., Waiblinger S., Ferneborg S. 2020. Methodology for experimental and observational animal studies in cow-calf contact systems. *Journal of Dairy Research* 87S1. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000552>
- Donat K., Schmidt M., Köhler H., Sauter-Louis C. 2016. Management of the calving pen is a crucial factor for paratuberculosis control in large dairy herds. *J. Dairy Sci.* 99, 3744–3752.
- Dorny P., Shaw D.J., Vercruyse J., 1999. The determination at housing of exposure to gastrointestinal nematode infections in first-grazing season calves. *VetParasitol.*80, 325- 340.
- Dumont B., Ryschawy J., Duru M., Benoit M., Chatellier V., Delaby L., Donnars C., Dupraz P., Lemauiel-Lavenant S., Méda B., Vollet D., Sabatier R., 2019. Review: Associations among goods, impacts and ecosystem services provided by livestock farming. *Animal* 13, 1773–1784. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002586>
- Edwards S., Broom D. 1979. The period between birth and first suckling in dairy calves. *Research in veterinary science*, 26 2, 255-6. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)32930-8](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)32930-8)
- Eysker, M., Boersema, J.H., Cornelissen, J.B., Kooyman, F.N., de Leeuw, W.A., Saatkamp, H.W., 1994. An experimental field study on the build up of lungworm infections in cattle. *Vet. Q.* 16, 144–147. <https://doi.org/10.1080/01652176.1994.9694437>
- Eysker M., Ploeger H.W., 2000. Value of present diagnostic methods for gastrointestinal nematode infections in ruminants. *Parasitology* 120, 109–119. <https://doi.org/10.1017/s0031182099005752>
- Faubert G.M., Litvinsky Y., 2000. Natural transmission of *Cryptosporidium parvum* between dams and calves on a dairy farm. *J. Parasitol.* 86, 495–500.
- Ferneborg S., Napolitano F., Vaarst M., Mejdell C.M., Waiblinger S., de Oliveira D., 2020. Methodology for studying human attitudes and behaviour to cow – calf contact systems *Journal of Dairy Research*. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000448>.
- Flower F. C., Weary D. M., 2003. The effects of early separation on the dairy cow and calf. *Anim. Welf.* 12: 339–348.
- Friggens N.C., Newbold J.R., 2007. Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning : The dairy cow as an example. *Animal*, 1, 87-97.
- Gasbarre L.C., Leighton E.A. Davies C.J., 1990. Genetic control of immunity to gastrointestinal nematodes of cattle. *Vet. Parasitol.*, 37, 257-272.

- Haklay M., 2015. Citizen science and policy: A European perspective. Washington D.C.: The Woodrow Wilson Center/Commons Lab
- Hernandez-Mendo O., von Keyserlingk M.A.G., Veira D.M., Weary D.M. 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1209–1214.
- Höglund J., Hessle A., Dahlström F., 2013. Calving season is a stronger determinant of worm burdens in pasture-based beef production than the level of residual larval contamination at turnout. *Vet. Rec.* 72(18), 472. <https://doi.org/10.1136/vr.101077>
- Imre M., Ilie M., Imre K., Dărăbuș G., 2015 Risk factors associated with *Cryptosporidium* infection in diarrheic pre-weaned calves. XVII International Congress on Animal Hygiene. pp. 184.
- Johnsen J.F., Zipp K.A., Kälber T., de Passillé A.M., Knierim U., Barth K., Mejdell C.M., 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms? Current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>
- Kälber T., Barth K., 2014. Practical implications of suckling systems for dairy calves in organic production systems - A review. *Landbauforsch. Volkenrode.* 64, 45–58. <https://doi.org/10.3220/LBF-2014-45-58>
- Kerboeuf D., Koch C., Le Dréan E., Lacourt A., 2002. Méthode simplifiée de mesure de la concentration en pepsinogène dans le sérum. *Rev. Med. Vet.* 153, 707–712.
- Lindsey E.H., Moisé S.J., 2016. Stress, immunity, and the management of calves. *J. Dairy Sci.* 99, 3199–3216. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10198>
- Marshall R. N., Catchpole J., Green J. A., Webster K. A. 1998. Bovine coccidiosis in calves following turnout *Vet Rec.* 143 (13), 366-367. doi: 10.1136/vr.143.13.366
- Matoock M.Y., El-Bably M.A., El-Bahy M.M. 2005. Management practices for minimizing environmental risk factors associated with *Cryptosporidium* in dairy calves. *Vet. Med. J. Giza* 53 (2), 565–576.
- McAloon C.G., Roche S., Ritter C., Barkema H.W., Whyte P., More S.J., O’Grady L., Green M.J., Doherty M.L., 2019. A review of paratuberculosis in dairy herds — part 1: epidemiology. *Vet. J.* 179, 47. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2019.01.010>.
- Mdegela R., Kusiluka L., Kapaga A. M., Karimuribo E., Turuka F. M., Bundala A., Kivaria F., Kabula B., Manjurano A., Loken T., Kambarage D. M., 2004. Prevalence and determinants of mastitis and milk-borne zoonoses in smallholder dairy farming sector in Kibaha and Morogoro districts in Eastern Tanzania. *J. Vet. Med. B Infect. Dis. Vet. Public Health* 51, 123–128.
- Merlin A., Chauvin A., Madouasse A., Froger S., Bareille N., Chartier C., 2016. Explaining variability in first grazing season heifer growth combining individually measured parasitological and clinical indicators with exposure to gastrointestinal nematode infection based on grazing management practice. *Vet. Parasitol.* 225, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.05.006>
- Merlin A., Ravinet N., Madouasse A., Bareille N., Chauvin A., Chartier C., 2017. Mid-season targeted selective anthelmintic treatment based on flexible weight gain threshold for nematode infection control in dairy calves. *Animal* 12, 1030–1040. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002312>
- Michaud, A., Clazier, A., Bec, H., Chassaing, C., Disenhaus, C., Drulhe, T., Martin, B., Pomiès, D., Le Cozler, Y., 2018. Déléguer l’allaitement des veaux laitiers aux vaches ? Résultats d’enquêtes auprès des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants.* 66–69.
- Morgan E., Charlier J., Hendrickx G., Biggeri A., Catalan D., von Samson- Himmelstjerna G., Demeler J., Müller E., van Dijk J., Kenyon F., Skuce P., Höglund J., Kiely P., van Ranst B., de Waal T., Rinaldi L., Cringoli G., Hertzberg H., Torgerson P., Wolstenholme A., Vercruyse J., 2013. Global change and

- helminth infections in grazing ruminants in Europe: impacts, trends and sustainable solutions. *Agriculture*. 3, 484.
- Muskens J., Elbers A., Van Weering H. J., Noordhuizen J. 2003. Herd management practices associated with paratuberculosis sero-prevalence in Dutch dairy herds. *J. Vet. Med. B Infect. Dis. Vet. Public Health* 50, 372–377.
- O’Handley R.M., 2007. *Cryptosporidium parvum* infection in cattle: are current perceptions accurate? *Trends Parasitol.* 23, 477–480. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.08.005>
- O’Shaughnessy J., Earley B., Mee J.F., Doherty M.L., Crosson P., Barrett D., De Waal T., 2015. Nematode control in suckler beef cattle over their first two grazing seasons using a targeted selective treatment approach. *Ir. Vet. J.* 68. <https://doi.org/10.1186/s13620-015-0038-1>
- Paraud C., Chartier C., 2012. Les protozooses digestives des ruminants. *Le point Vétérinaire* 43, 54–60.
- Pillars R. B., Grooms D. L., Gardiner J. C., Kaneene J. B. 2011. Association between risk-assessment scores and individual cow Johnne’s disease-test status over time on seven Michigan, USA dairy herds. *Prev. Vet. Med.* 98, 10–18.
- Placzek M., Christoph-Schulz I., Barth K., 2021. Public attitude towards cow-calf separation and other common practices of calf rearing in dairy farming—a review. *Org. Agric.* 11, 41–50. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00321-3>
- Ploeger H.W., Kloosterman A., Rietveld F.W., Berghen P., Hilderson H., Hollanders W., 1994. Quantitative estimation of the level of exposure to gastrointestinal nematode infection in first-year calves. *Vet. Parasitol.* 55, 287–315. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(94\)90071-X](https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)90071-X)
- Rieux A., Chartier C., Pors I., Delafosse A., Paraud C., 2013. Molecular characterization of *Cryptosporidium* isolates from high-excreting young dairy calves in dairy cattle herds in Western France. *Parasitol. Res.* 112, 3423–3431.
- Rogers E. 2002. Diffusion of preventive innovations. *Addictive Behaviors* 27, 989–993.
- Rose Vineer, H., Verschave, S.H., Claerebout, E., Vercruyse, J., Shaw, D.J., Charlier, J., Morgan, E.R., 2020. GLOWORM-PARA: a flexible framework to simulate the population dynamics of the parasitic phase of gastrointestinal nematodes infecting grazing livestock. *Int. J. Parasitol.* 50, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.11.005>
- Santín M., Trout J.M., Xiao L., Zhou L., Greiner E., Fayer R., 2004. Prevalence and age-related variation of *Cryptosporidium* species and genotypes in dairy calves. *Vet. Parasitol.* 122, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.03.020>
- Schnieder T., Bellmer A., Tenter A.M., 1993. Seroepidemiological study on *Dictyocaulus viviparus* infections in first year grazing cattle in northern Germany. *Vet. Parasitol.* 47, 289–300. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(93\)90030-Q](https://doi.org/10.1016/0304-4017(93)90030-Q)
- Shaw D.J., Vercruyse J., Claerebout E., Dorny P., 1998. Gastrointestinal nematode infections of first-grazing season calves in Western Europe: Associations between parasitological, physiological and physical factors. *Vet. Parasitol.* 75, 133–151. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00213-6)
- Silverlås C., Björkman C., Egenvall A., 2009. Systematic review and meta-analyses of the effects of halofuginone against calf cryptosporidiosis. *Prev. Vet. Med.* 91, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.05.003>
- Stilling R. M., Dinan T. G., Cryan J. F., 2014. Microbial genes, brain & behaviour—Epigenetic regulation of the gut-brain axis. *Genes Brain Behav.* 13, 69–86.

- Svensson C., Hesse A., Höglund J., 2000. Parasite control methods in organic and conventional dairy herds in Sweden. *Livest. Prod. Sci.* 66, 57–69. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00155-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00155-X)
- Takeuchi-Storm N., Moakes S., Thüer S., Grovermann C., Verwer C., Verkaik J., Knubben-Schweizer G., Höglund J., Petkevičius S., Thamsborg S., Werne S., 2019. Parasite control in organic cattle farming: Management and farmers' perspectives from six European countries. *Vet. Parasitol. Reg. Stud. Reports.* 18, 100329. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2019.100329>
- Tavornpanich S., Johnson W. O., Anderson R. J., Gardner I. A. 2008. Herd characteristics and management practices associated with sero-prevalence of *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* infection in dairy herds. *Am. J. Vet. Res.* 69, 904–911.
- Taylor M.A., Coop R. L., Wall R L. 2016. *Veterinary Parasitology*. Fourth Edition. pp. 1006.
- Teagasc, 2017. Introduction To Calf Rearing, in: *Calf Rearing Manual*. pp. 3–18.
- Trotz-Williams L.A., Wayne, M. S., Leslie K.E., Duffield T., Nydam D. V., Peregrine A.S., 2007. Calf-level risk factors for neonatal diarrhea and shedding of *Cryptosporidium parvum* in Ontario dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 82, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.003>
- Vaarst M., Jensen M.B., Sandager A.M., 2001. Behaviour of calves at introduction to nurse cows after the colostrum period. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 27–33. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00120-4)
- Verschave S. H., Levecke B., Duchateau L., Vercruyse J., Charlier J. 2015. Measuring larval nematode contamination on cattle pastures: Comparing two herbage sampling methods. *Veterinary Parasitology*, 210 (3-4), 159-166.
- Windsor P. A., Whittington R. J., 2010. Evidence for age susceptibility of cattle to Johne's disease. *Vet. J.* 184, 37–44.

Conclusion générale

La conduite des veaux laitiers sous nourrices en AB se développe en France depuis 2010 et se transmet entre éleveurs. Cette nouvelle conduite amène à de nouvelles questions : comment est-elle réalisée et quels sont les risques sanitaires associés ?

Dans l'optique de répondre à ces questions, nous avons réalisé une enquête semi-directive auprès de 20 éleveurs afin de connaître non seulement leurs pratiques au quotidien mais aussi leurs perceptions sur la conduite. Pour évaluer les risques sanitaires, la stratégie d'analyse a reposé sur des méthodes d'épidémiologie quantitatives de parasitoses majeures présentes en élevage bovin : la cryptosporidiose et les strongyloses digestives et respiratoires. Nos travaux constituent une base de connaissance pour toutes personnes s'intéressant à cette conduite. Les principales conclusions de nos travaux sont les suivantes :

La conduite des veaux sous nourrices s'adapte à la gestion de nombreuses fermes basées sur un système très pâturant. Cette conduite s'insère dans une recherche d'autonomie. Des croisements avec des races robustes, adaptées au climat local sont souvent réalisés pour obtenir des animaux pâturant le plus longtemps possible. La monotraitte peut aussi être associée à cette conduite. Les vêlages groupés en 1 ou 2 saisons facilitent l'organisation de la ferme. Une phase d'allaitement artificiel peut ou non être réalisée. L'adoption s'effectue lorsque les veaux sont âgés d'une semaine environ et nécessite une attention particulière de l'éleveur. Les veaux sont âgés en moyenne d'un mois lors de la mise à l'herbe. Ils sont sevrés vers 6 mois au cours de la saison de pâturage ou lors de la rentrée en bâtiment. Les éleveurs sont très satisfaits de cette conduite et soulignent une amélioration de leurs conditions de travail. Ils notent aussi une amélioration de la santé et une augmentation de la croissance des veaux ce qui leur permet d'avoir des vêlages précoces.

La conduite permet une diminution de la prévalence des veaux fortement excréteur d'ookystes de cryptosporidiose et donc une diminution de veaux diarrhéiques. Contrairement aux recommandations émises concernant la biosécurité, la séparation du veau de sa mère est un facteur de risque mis en évidence dans notre étude. Malgré les contacts entre veaux qui sont induits par cette pratique, leur courte présence en bâtiment permet de diminuer la densité d'animaux et donc la contamination.

La présence des nourrices au pâturage permet de réduire l'infestivité des parcelles par les SGI par l'effet de dilution. Il semble plus intéressant d'avoir des vêlages groupés au printemps afin de permettre aux veaux d'avoir une longue SP1 en présence des nourrices. Les génisses acquièrent ainsi une immunité dès la fin de la SP1 ce qui permet de diminuer le recyclage parasitaire durant la SP2. Une bonne gestion du pâturage reste importante pour limiter au maximum l'exposition des génisses aux SGI. La présence des nourrices associée à une bonne gestion du pâturage permet de limiter l'utilisation d'anthelminthique.

La présence des nourrices est à l'origine d'un premier contact des veaux aux dictyocauls dans les fermes infestées. Les veaux semblent acquérir ainsi leur immunité sans risque pour les nourrices si une gestion adéquate du pâturage est associée. Les dictyocauls sont très sensibles aux conditions météorologiques. Les étés sans sécheresse risquent d'augmenter l'infestivité des parcelles et nécessitent de la vigilance de la part des éleveurs. En cas de doute, un bilan parasitaire peut être réalisé pour s'assurer de l'infestation des génisses et traiter sélectivement si nécessaire, sur le conseil d'un vétérinaire.

Il serait intéressant par la suite d'étudier les effets sanitaires concernant les vaches nourrices vis-à-vis des boiteries, des mammites ou des strongles digestifs et respiratoires.

Cette conduite permet de répondre aux enjeux sanitaires vis-à-vis de la résistance aux anthelminthiques et aux antibiotiques. La conduite permet donc de gérer les infestations aux strongles et limite l'utilisation d'anthelminthiques. De plus, la diminution des diarrhées néonatales induit une réduction de l'utilisation des antibiotiques couramment utilisés dans leur traitement.

L'AB se développe de plus en plus en Europe et particulièrement en France. La conduite des veaux sous nourrices est une solution à la nouvelle application de la réglementation européenne qui exigent que les veaux soient élevés en case collective avec un accès à l'extérieur dès que les conditions climatiques le permettent.

La conduite permet aux veaux laitiers d'être en contact avec des vaches adultes jusqu'à leur sevrage, et est perçu par les éleveurs comme une amélioration de leur BEA répondant ainsi à la demande sociale. Le pâturage est aussi bien vu par le grand public. Cette conduite s'insère dans la transition agroécologique par plusieurs aspects. Des études s'intéressant à la durabilité de la conduite, de ces conséquences sur l'environnement et sur la biodiversité dans un contexte d'incertitude climatique seraient les bienvenues.

Cette thèse pourrait donc favoriser le développement de la conduite des veaux sous nourrices qui pourrait amener des réponses aux grands enjeux actuels.



Liste des publications réalisées et prévues :

Articles scientifiques

- Constancis, C., Ravinet, N., Bernard, M., Lehebel, A., Brisseau, N., Chartier, C., 2021. Rearing system with nurse cows and risk factors for *Cryptosporidium* infection in organic dairy calves. *Prev. Vet. Med.* 190, 105321. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105321>
- Constancis, C., Chartier, C., Leligois, M., Brisseau, N., Bareille, N., Strube, C., Ravinet, R., Gastrointestinal nematode and lungworm infections in organic dairy calves reared with nurse cows during their first grazing season in western France. *Soumis à Vet. Parasitol.*
- Constancis, C., Hellec, F., Bareille, N., Vaarst, M., Introduction and development of the nurse cow system in organic dairy farms in France soumis à *Frontier in Animal science*

Communications orales dans un congrès international

- Constancis C., Hellec F., Brunet L., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Bareille N., Chartier C., Ravinet R. 2020. Performance and health status of dairy calves reared with nurse cows, a 2-year study involving 3 cohorts. *Proceedings of the IAHA Video-Conference on Organic Animal Husbandry.* 39–43. 21-22 September, Rennes.
- Constancis C., Bernard M., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Chartier C., Ravinet N. 2020. Risk factors for *Cryptosporidium* oocyst shedding in dairy calves reared with nurse cows in organic farms. *Proceedings of the IAHA Video-Conference on Organic Animal Husbandry.* 31–34. 21-22 September, Rennes.
- Vaarst M., Verwer C., Constancis C., Sørheim K., Johanssen J.R.E. IAHA 2021 *Proceedings of the IAHA Video-Conference on Organic Animal Husbandry.* 6-7 September, Rennes.
- Constancis C., Leligois M., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Chartier C., Ravinet N. 2021. Suckling dairy calves/nurse cows system and risk of gastrointestinal nematodes infection during the first grazing season in organic farms. 2021. 20th IFOAM Conference on Organic Animal Husbandry. 8-11 September, Rennes.
- Constancis C., Leligois M., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Chartier C., Ravinet 2020. A diluting strategy to reduce anthelmintic treatment: suckling dairy calf/nurse cow system and gastrointestinal infection during the first grazing season. *COMBAR joint WG meetings.* 9-10 December.
- Constancis C., Chartier C., Bernard M., Lehebel A., Brisseau N., Chauvin A., Bareille N., Ravinet N., 2020. Parasitisme et performances zootechniques des veaux laitiers conduits avec des vaches nourrices en Agriculture Biologique. *Renc. Rech. Ruminants.* 25, 497–501.

Communications orales dans un congrès national

- Constancis C., Leligois M., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Chartier C., Ravinet N., 2021. Infestation par les strongles gastro-intestinaux chez les veaux laitiers élevés par des vaches nourrices pendant la première saison de pâturage dans des fermes en Agriculture Biologique. *Journées nationales des Groupements Techniques Vétérinaires (SNGTV).* 20-22 October, Tours.
- Constancis. C. 2021. La conduite des veaux laitiers sous nourrices et ses conséquences sanitaires. *SPACE.* 15-septembre, Rennes.

Constancis C., Chartier C., Bernard M., Ravinet N. 2021. Organic dairy calves reared with nurse cows and their impacts on *Cryptosporidium* infection. Rencontre Scientifique EGAAL, 30 juin -1^{er} juillet.

Articles de vulgarisation

Constancis C., Bernard M., Chartier C., Ravinet N. 2020. Les risques de cryptosporidiose chez les veaux laitiers élevés sous nourrices. Le nouveau praticien vétérinaire. Vol. 12 (46). 27-31.

Constancis C., M., Chartier C., Ravinet N. 2020. Quels sont les risques de cryptosporidiose chez les veaux laitiers élevés sous nourrices ? Chambre d'agriculture de Bretagne. https://operaconnaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=159721

Constancis C., M., Chartier C., Ravinet N. 2019. Strongyloses digestives des veaux laitiers élevés sous nourrices en AB - Présence des vaches nourrices au pâturage : diminution ou augmentation du risque parasitaire pour les veaux ? site internet INRAE UMR BioEpar <https://www6.angers-nantes.inrae.fr/bioepar/content/download/5386/73738/version/1/file/Stronglylose%20et%20v eaux%20sous%20nourrice.pdf>

Constancis C., Leligois M., Brisseau N., Lehébel A., Chauvin A., Chartier C., Ravinet N., 2020. Parasite infection risks for dairy calves raised by nurse cows studied in France. CORE Organic Newsletter, September 2020 <https://projects.au.dk/coreorganicofund/news-and-events/show/artikel/parasite-infection-risks-for-dairy-calves-raised-by-nurse-cows-studied-in-france/>

Vidéos de vulgarisation en cours de montage

Système d'élevage des veaux sous nourrices, généralité
Impacts sur le travail et les animaux
Conduite au pâturage et autres innovations associées
L'adoption
La cryptosporidiose
Les strongyloses et la croissance

Communication indirecte : résultats repris par d'autres auteurs

Scohy D., 2020. Les effets positifs de l'élevage des veaux sous nourrices. Web-agri <https://www.web-agri.fr/veaux-et-genisses/article/174554/vaches-nourrices-pour-les-veaux-impacts-sur-les-performances> publié le 14-12-2020.

Flamant H., 2021. Veaux sous nourrice : des effets bénéfiques sur la santé et la croissance. Mon Cultivar élevage. <https://www.mon-cultivar-elevage.com/content/veaux-sous-nourrice-des-effets-benefiques-sur-la-sante-et-la-croissance> Publié le 5/01/2021.

Le Guenic M., 2020 La bonne santé des veaux élevés par des nourrices. Terra, <https://www.terra.bzh/la-bonne-sante-des-veaux-eleves-par-des-nourrices>. Publié le 31/12/2020.

Taunay N., 2021. Synergie veau & vache-nourrice. Grand troupeau Magazine N° 87 p.41.

Pailler I., Boulent S., 2021. Les vaches nourrices : une alternative à l'allaitement au seau. Chambre d'agriculture de Bretagne, <http://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/synagri/les-vaches-nourrices> Publié le 15/02/2021.

Titre : L'élevage des veaux laitiers sous nourrice en agriculture biologique : description des pratiques et étude épidémiologique de la cryptosporidiose et des strongyloses digestives et respiratoires

Mots clés : Veaux laitiers, Vaches nourrices, Agriculture biologique, *Cryptosporidium*, strongles gastro-intestinaux, strongles respiratoires.

Résumé : L'élevage des veaux laitiers avec des vaches nourrices se développe en France depuis 2010 mais reste peu documenté en particulier en ce qui concerne son impact sur la santé des veaux. Le premier objectif de la thèse était de décrire ce système et la perception que les éleveurs en ont. Le second objectif était l'étude épidémiologique de deux parasitoses majeures des veaux : la cryptosporidiose en période néonatale et les strongyloses digestives et respiratoires lors des 2 premières saisons de pâturage (SP1 et SP2). Dans 20 fermes élevant des veaux sous nourrice, des entretiens ont été conduits, et les veaux ont fait l'objet d'un suivi parasitaire pendant deux ans.

Après une phase avec la mère et une phase d'allaitement artificiel optionnelle, les veaux sont adoptés par une nourrice à 8 jours puis sortent au pâturage à 1 mois et sont sevrés entre 4 et 10 mois. Les éleveurs perçoivent dans ce mode

d'élevage une amélioration du bien-être, de la croissance et de la santé des veaux. L'excrétion d'ookystes de *Cryptosporidium*, bien que globalement faible, était plus fréquente lorsque la contamination environnementale était favorisée. En SP1, l'infestation par les strongles digestifs était basse en raison d'un effet de dilution dû aux nourrices et les strongles respiratoires, présents dans la majorité des lots, ont entraîné peu de signes cliniques. En SP2, l'exposition aux strongles digestifs a été forte notamment chez les génisses ayant peu pâturé en SP1 avec peu de veaux par nourrice, ce qui suggère un défaut d'acquisition d'immunité dans ces lots. Des études complémentaires sont nécessaires pour mesurer l'impact zootechnique de ces infestations chez les génisses lors de la SP2.

Title : Dairy calf rearing with nurse cow in organic farming: description of practices and epidemiological study of cryptosporidiosis and digestive and respiratory strongylosis

Keywords : Dairy calves, Nurse cows, Organic farming, *Cryptosporidium*, gastrointestinal strongyles, respiratory strongyles.

Abstract: The rearing of dairy calves with nurse cows has been developing in France since 2010 but remains poorly documented, particularly with respect to its impact on calf health. The first objective of the thesis was to describe this system and the perception that farmers have of it. The second objective was the epidemiological study of two major parasitic diseases of calves: cryptosporidiosis occurring in the neonatal period and digestive and respiratory strongylosis during the first two grazing seasons (GS1 and GS2). In 20 dairy farms rearing calves with nurse cows, farmer interviews were conducted and calves were monitored for parasites for two years. After a phase with the dam and an optional artificial feeding phase, the calves are fostered by a nurse cow at 8 days old, turned out at 1 month old and

are weaned between 4 and 10 months old. Farmers perceive that this rearing system improves the welfare, growth and health of the calves. *Cryptosporidium* oocyst excretion, although generally low, was more frequent when environmental contamination was increased. In GS1, gastrointestinal nematode infection was low because of a dilution effect due to nurse cows and respiratory strongyles, present in the majority of the groups, caused few clinical signs. In GS2, exposure to gastrointestinal nematode was higher, especially in heifers that had not grazed much in GS1 with few calves per nurse cows, which suggests a lack of immunity acquisition in these groups. Further studies are needed to measure the production impact of these infections in heifers during GS2.