



HAL
open science

Étude rétrospective de l'importance de l'apport en oligoéléments sur une population de vaches allaitantes du cantal pour le transfert d'immunité passive chez les veaux

Marion Carriere

► To cite this version:

Marion Carriere. Étude rétrospective de l'importance de l'apport en oligoéléments sur une population de vaches allaitantes du cantal pour le transfert d'immunité passive chez les veaux. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03921936

HAL Id: dumas-03921936

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03921936v1>

Submitted on 4 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE RETROSPECTIVE DE L'IMPORTANCE DE L'APPORT EN OLIGOELEMENTS SUR UNE POPULATION DE VACHES ALLAITANTES DU CANTAL POUR LE TRANSFERT D'IMMUNITE PASSIVE CHEZ LES VEAUX

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

CARRIERE Marion, Julie, Lucie

Directeur de thèse : M. Francis ENJALBERT

JURY

PRESIDENTE :
Mme Caroline LACROUX

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Francis ENJALBERT
Mme Séverine BOULLIER

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

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

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*

Remerciements

A Madame la Professeure Caroline LACROUX

Professeure en Anatomie pathologique, animaux d'élevage
Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse

Qui me fait l'honneur de présider ce jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Francis ENJALBERT

Professeur en Alimentation
Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse

Pour sa disponibilité et son accompagnement dans la réalisation de ce travail.

A Madame la Professeure Séverine BOULLIER

Professeure en Immunologie générale et médicale
Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse

Qui me fait l'honneur de participer à mon jury de thèse en tant qu'assesseur

A Monsieur Nicolas HERMAN,

Docteur vétérinaire
Praticien à Riom-ès-Montagne

Pour m'avoir fourni l'ensemble des données et m'avoir fait confiance pour les exploiter

Sincères remerciements

A Monsieur Fabien CORBIERE

Professeur en Pathologie des ruminants
Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse

Pour son aide dans l'exploitation des données

A ma famille

Pour leur soutien inconditionnel

Table des matières

LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES ABREVIATIONS	11
INTRODUCTION	13
PREMIERE PARTIE : BIBLIOGRAPHIE.....	15
1. Importance du transfert d'immunité passive chez les bovins	15
A. Barrière placentaire	15
B. Composition du colostrum	16
C. Absorption intestinale	17
2. Rôles des oligoéléments chez les bovins	18
A. Sélénium.....	18
B. Cuivre	19
C. Zinc	20
D. Iode	21
E. Cobalt	22
F. Manganèse	22
G. Fer	23
3. Besoin des vaches allaitantes en oligoéléments	23
4. Affections du veau non sevré	24
A. Les entérites néonatales du veau	25
B. Les affections respiratoires	26
C. Autres.....	27
5. Méthodes de mesures du transfert d'immunité passive	27
A. La méthode de référence : l'immunodiffusion radiale inverse.....	27
B. Réfractomètre de Brix.....	28
C. Mesure des protéines totales sériques ou colostrales au réfractomètre.....	29
D. Autres méthodes	29
6. Transfert d'immunité passive chez le veau	30
A. Définition du défaut de transfert d'immunité passive.....	30
B. Paramètre influençant le transfert d'immunité passive	31
7. Intérêt de la maîtrise du transfert d'immunité chez la vache allaitante	32
DEUXIEME PARTIE : ETUDE RETROSPECTIVE ET RESULTATS	35
1. Cadre de l'étude.....	35

A.	Description de la population.....	35
B.	Données collectées	36
C.	Hypothèses de travail	37
2.	Résultats	38
A.	Analyse descriptive	38
a.	Événements sanitaires et mortalité	38
b.	Gémellité.....	39
c.	Conditions de vêlage	39
d.	Parité de la mère.....	40
e.	Prise colostrale.....	40
f.	% Brix dans le sérum du veau	40
g.	Concentration des protéines totales sériques (en g/L) chez les veaux	41
h.	% Brix dans le colostrum de la mère	42
i.	Supplémentation de la mère en Cuivre, Zinc, Manganèse, Cobalt, Iode, Sélénium et Fer	43
B.	Analyses univariées et construction du modèle	45
a.	Effet aléatoire	45
b.	Variables non sélectionnées dans le modèle final	46
c.	Variables sélectionnées dans le modèle	46
d.	Construction du modèle	46
C.	Exploitation du modèle.....	47
D.	Morbidité et ses conséquences	49
	TROISIEME PARTIE : DISCUSSION	51
1.	Intérêt et limites de l'étude	51
A.	Représentativité de l'échantillon	51
B.	Représentativité du modèle	51
C.	Limites de l'élevage allaitant	53
2.	Biais	53
A.	Recueil des données	53
B.	Données concernant l'alimentation	54
C.	Pression d'infection	55
	CONCLUSION	57
	LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	59
	ANNEXE 1 : Fiche de renseignement à compléter par l'éleveur pour chaque veau	65

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'un placentome bovin (d'après Telugu, Green, 2007).....	15
Figure 2 : Principales affections néonatales à l'origine de diarrhées chez le veau au cours du premier mois d'âge d'après Heller, Chigerwe, 2018	26
Figure 3 : Schéma montrant les facteurs clé affectant le transfert d'immunité passive chez un veau (McGee, Earley, 2019)	32
Figure 4 : Représentation graphique de la répartition des événements sanitaires (pneumopathie, diarrhée, autre) rencontrés par les veaux en fonction de leur élevage d'origine	38
Figure 5 : Répartition du nombre de veaux morts par élevage	39
Figure 6 : Boîtes à moustache des % Brix sériques par élevage et sur le total de l'effectif	41
Figure 7 : Relation entre la concentration en STP (en g/L) et le % Brix sérique chez les veaux.....	42
Figure 8 : Boîtes à moustache des % Brix colostraux par élevage et sur le total de l'effectif	43
Figure 9 : Pourcentage de veaux sains et malades en fonction de leur %Brix sérique	48
Figure 10 : Boîtes à moustache des GMQ à 4 mois d'âge (en g/j) selon l'élevage... ..	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des compositions de colostrum et de lait (d'après Iwarsson et al. 1973 ; Foley, Otterby, 1978 ; Przybylska et al. 2007; Godden 2008).....	16
Tableau 2 : Besoins des bovins adultes en oligoéléments (d'après Delaby, Nozière, Sauvant 2018)	24
Tableau 3 : Qualité du transfert d'immunité passive chez les veaux laitiers établie selon le consensus de la concentration en IgG sérique et ses équivalents en concentration de STP et % Brix sérique d'après Lombard et al. 2020	30
Tableau 4 : Caractéristiques des élevages bovins allaitants suivis et répartition des veaux suivis par élevage	35
Tableau 5 : Moyenne de la supplémentation en oligoéléments (en mg/j) reçue entre la rentrée à l'étable et le vêlage par élevage	44
Tableau 6 : Résultats des différents modèles de régression logistique à une seule variable explicative de la morbidité	45
Tableau 7 : Résultat du modèle généralisé linéaire mixte cherchant à expliquer la morbidité selon le modèle 2 : Morbidité ~ Sexe du veau + % Brix sérique + Supp. Zn + Supp. Mn + Supp. Cu + Supp. Se + Supp. Co + (1 Elevage)	47

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribo-Nucléique

ARN : Acide Ribo-Nucléique

BVDV : Diarrhée virale des bovins

Cu : Cuivre

ELISA : Enzyme-linked immunosorbent assay

Fe : Fer

GSH-Px : Enzyme Glutathion Peroxydase

Ig : Immunoglobuline

I : Iode

MG : Matière grasse

Mn : Manganèse

n : Effectif concerné/effectif total

Se : Sélénium

STP : Protéines totales sériques

Supp. : Supplémentation

T4 : Thyroxine

T3 : Tri-iodothyronine

Zn : Zinc

Introduction

Le défaut de transfert d'immunité passive de la vache au veau correspond à un défaut d'absorption du colostrum de la mère. En effet, la placentation chez la vache ne permet pas de passage d'immunoglobulines (Ig) lors de la gestation. La tétée du colostrum par le veau est essentielle pour lui permettre d'être protégé pendant ses premières semaines de vie, avant d'être en capacité de produire lui-même ses propres anticorps. Les oligoéléments, que sont le zinc, le manganèse, le cobalt, l'iode, le cuivre, le fer et le sélénium, peuvent passer de la mère au veau pendant la gestation, mais aussi via le colostrum.

Ils ont des rôles variés au sein de l'organisme permettant le bon fonctionnement de son système immunitaire ou de son métabolisme. La concentration sérique en sélénium chez la vache est, par exemple, corrélée avec la concentration en immunoglobulines dans le colostrum (Awadeh et al. 1998). Les paramètres affectant le transfert d'immunité passive ont principalement été étudiés sur les vaches laitières. (Godden, 2008 ; Lombard et al. 2020)

Ce transfert d'immunité, s'il n'est pas correctement réalisé, va entraîner des pertes pour l'éleveur, le taux de morbidité et de mortalité des veaux étant plus élevé. Ces pertes ont été évaluées à 80 € en moyenne par veau allaitant présentant un défaut de transfert d'immunité passive, mais peuvent atteindre jusqu'à 140 € si le scénario le plus pessimiste est envisagé. (Raboison et al. 2016)

La région d'étude Auvergne-Rhône-Alpes regroupe 17 % du cheptel reproducteur français de vaches allaitantes en 2020. L'élevage de bovin allaitant y occupe une place importante. L'étude s'est portée sur 15 élevages allaitants dans le Cantal, sur la période de vêlage automne 2020 - printemps 2021. Elle a pour but d'étudier rétrospectivement les principaux paramètres affectant le transfert d'immunité chez les veaux, avec notamment la prise en compte de la supplémentation en oligoéléments chez leurs mères avant vêlage.

Première partie : bibliographie

1. Importance du transfert d'immunité passive chez les bovins

Les veaux naissent avec un système immunitaire compétent, mais encore immature. Le transfert d'immunoglobulines via le colostrum va permettre au veau d'avoir des moyens de défense contre les agents pathogènes durant la période où son système immunitaire gagne en maturité.

A. Barrière placentaire

Les ruminants ont un placenta multicotylédonaire de type syndesmochorial. Ces cotylédons sont des regroupements de villosités d'origines fœtales qui viennent s'insérer de façon convexe sur les caroncules appartenant à la muqueuse utérine maternelle, formant alors un placentome. Les placentomes sont composés de cinq couches de cellules : l'endothélium maternel, le tissu conjonctif maternel, l'épithélium fœtal, le tissu conjonctif fœtal et l'endothélium fœtal. L'ensemble de ces placentomes constituent les surfaces d'échanges gazeux et de nutriments entre la mère et le fœtus, tout en permettant la séparation du sang maternel du sang fœtal. Ils vont commencer à se développer au 19^e jour de gestation avant de devenir à partir du 32^e jour complètement opérationnels (Telugu, Green, 2007). Cette placentation ne permet pas le passage d'immunoglobulines du sang maternel vers le sang du fœtus. Le veau naît donc en agammaglobulinémie, qui sera normalement palliée par une prise colostrale rapide et adéquate (Dewell et al. 2006).

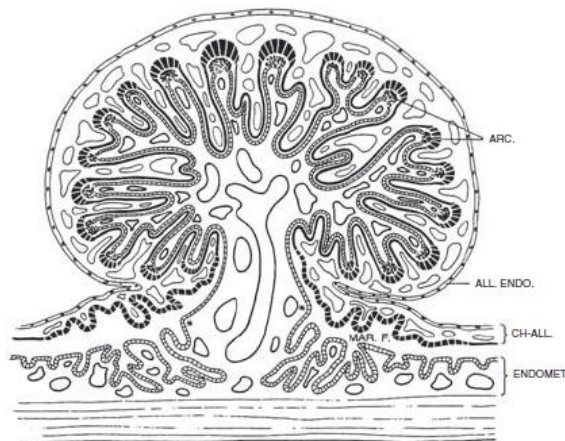


Figure 1 : Schéma d'un placentome bovin (d'après Telugu, Green, 2007).

Légende de l'illustration ARC : arcade ; ALL. ENDO : endoderme de l'allantoïde ; CH-ALL : chorioallantoïde ; ENDOMET : endomètre

B. Composition du colostrum

Les premières sécrétions lactées chez la vache après la parturition sont communément appelées colostrum. Le colostrum consiste en un mélange lacté de constituants du sérum (dont les immunoglobulines), de leucocytes maternels ($> 1 \times 10^6$ cells/mL), d'hormones, de facteurs de croissance et de nutriments. Ces constituants se sont accumulés dans la mamelle au cours de la période de tarissement avant le vêlage. La concentration en ces constituants va par la suite décroître au fil des tétées jusqu'à retrouver la concentration habituelle de ces éléments dans le lait.

Tableau 1 : Comparaison des compositions de colostrum et de lait (d'après Iwarsson et al. 1973 ; Foley, Otterby, 1978 ; Przybylska et al. 2007; Godden 2008)

Composant analysé	Colostrum	Lait
Solides totaux (%)	23,9	12,9
Matière grasse (%)	6,7	4,0
Protéines totales (%)	14,0	3,1
Caséine (%)	4,8	2,5
Albumine (%)	6,0	0,5
Immunoglobulines (%)	6,0	0,09
IgG (g/100mL)	3,2	0,06
Lactose (%)	2,7	5,0
IGF-I (µg/L)	341	15
Insuline (µg/L)	65,9	1,1
Cendre (%)	1,11	0,74
Calcium (%)	0,26	0,13
Magnésium (%)	0,04	0,01
Iode (µg/100mL)	2,4-3,4	0,9-2,6
Zinc (mg/100mL)	1,22	0,3
Manganèse (mg/100mL)	0,02	0,004
Fer (mg/100g)	0,20	0,05
Cobalt (µg/100g)	0,5	0,10
Cuivre (mg/100g)	0,06	0,01
Sélénium (µg/100mL)	2,6	1,5-1,8
Vitamine A (µg/100mL)	295	34
Vitamine E (µg/g MG)	84	15
Vitamine B12 (µg/100mL)	4,9	0,6
Riboflavine (µg/mL)	4,83	1,47
Acide folique (µg/100mL)	0,8	0,2
Choline (mg/mL)	0,7	0,13

L'apport nutritionnel du colostrum n'est pas négligeable, que cela soit en termes de matières grasses (6,7 %), de vitamines et de minéraux. La digestion et l'assimilation de ces constituants fournissent l'énergie et les nutriments nécessaires à l'organisme du veau.

Les faibles teneurs en Cu, Zn, Se ou Fe dans le lait et le colostrum, sont en partie compensées par une accumulation chez le fœtus au cours de la gestation.

Les leucocytes maternels (lymphocytes T et B, macrophages) présents dans le colostrum sont décrits comme augmentant les capacités de lutte antibactérienne et stimulant la réponse immunitaire humorale du veau pendant les 24 h à 36 h après la tétée du colostrum. Ils trouveraient une voie d'entrée dans l'organisme du veau via les plaques de Peyer au niveau intestinal (jéjunum et iléon) (Godden, 2008).

Les Ig maternelles, apportées elles aussi au veau par le colostrum, confèrent au veau une immunité. Les IgG sont les immunoglobulines majoritairement présentes dans le colostrum (85-95 % dont 80 à 90 % d'IgG₁). Les IgM (7 %), IgA (5 %) et IgE représentent une quantité moins importante d'immunoglobulines transférées au veau, mais leur rôle n'en est pas pour autant négligeable, car elles neutralisent les antigènes ou facilitent la libération de facteurs de l'inflammation pour lutter contre l'agent pathogène (Godden, 2008).

C. Absorption intestinale

La paroi intestinale dans les premières heures de vie du veau permet l'absorption des macromolécules du colostrum qu'il ingère. Il a été montré que l'absorption de ces molécules, en particulier les IgA, se faisait par pinocytose au niveau des entérocytes de l'intestin grêle. Le jéjunum et l'iléon sont les segments du tractus intestinal où se concentrent ces phénomènes de pinocytose (Kaup et al. 1996).

Le phénomène de pinocytose décroît dans le temps, jusqu'à ne plus être actif autour de 24-48 h post partum pour permettre le passage des Ig maternelles. On parle alors de la fermeture de la barrière intestinale (McGee, Earley, 2019). Il ne reste au veau que 50 % des capacités d'absorption des macromolécules 6 h après la naissance, 33 % à 8 h après la naissance (Cortese, 2009).

2. Rôles des oligoéléments chez les bovins

Les oligoéléments sont des éléments essentiels au fonctionnement de l'organisme. Ils sont présents en plus faibles quantités que les macroéléments. Les principaux oligoéléments chez les ruminants sont le sélénium, le cuivre, le zinc, le manganèse, le cobalt, l'iode et le fer.

A. Sélénium

Le sélénium est un composant des séléno-enzymes comme les glutathions peroxydases. Ces enzymes combinées à la vitamine E jouent un rôle d'antioxydant majeur de l'organisme en limitant l'exposition des cellules de l'organisme aux dérivés oxygénés dont les radicaux libres.

Les cellules de l'immunité, comme les macrophages ou les polynucléaires neutrophiles, sont particulièrement exposées aux phénomènes oxydatifs. En effet, après avoir phagocyté un agent pathogène et l'avoir isolé dans son phagolysosome, les dérivés oxygénés toxiques, contenus dans cet organite, viennent lyser l'agent pathogène et peuvent aller jusqu'à lyser la membrane du phagolysosome en l'absence de protection de celle-ci par les séléno-enzymes (Gilles et al. 2009).

Le sélénium entre aussi en compte indirectement dans la synthèse de nombreuses molécules essentielles aux phénomènes inflammatoires et immunitaires de l'organisme. C'est le cas notamment du métabolisme de l'acide arachidonique qui par voie des lipo-oxygénases donne des leucotriènes, ou qui par voie des cyclo-oxygénases donne des éléments clé, les prostaglandines (Gilles et al. 2009).

Une supplémentation en sélénium par voie parentérale a été décrite comme augmentant la production d'anticorps, et favorisant une concentration plus élevée en immunoglobulines dans le colostrum (Awadeh et al. 1998). L'augmentation de la production d'anticorps a été décrite pour *E. coli* et *Pasteurella haemolytica* principalement (Droke, Loerch, 1989 ; Panousis et al. 2001).

Outre l'importance au niveau immunitaire, le sélénium joue un rôle dans les muscles. En cas de carence, les jeunes animaux ont tendance à développer rapidement une myopathie, voire une myocardite nécrosante menant à de la mortalité (Enjalbert et al. 2006).

Le transfert du sélénium au cours de la gestation est efficace. La concentration sanguine circulante en sélénium est plus élevée chez la mère que chez le fœtus, créant un gradient en faveur du transfert vers le fœtus, qui peut stocker le sélénium dans son foie. Ainsi, les concentrations hépatiques chez le fœtus sont alors plus élevées que chez la mère (Enjalbert, 2009).

B. Cuivre

Au cours de la gestation, le cuivre dont le foie du fœtus est le principal organe de stockage chez les ruminants, voit sa concentration augmenter progressivement. La concentration atteinte sera fonction de l'âge du fœtus et de la concentration du cuivre dans le foie de la mère. Les besoins en cuivre de la mère lors du dernier mois de gestation vont augmenter d'environ 70 % au-dessus du besoin d'entretien, pour répondre aux besoins du fœtus (Gooneratne et al. 1989). Les besoins du fœtus en cuivre ont la priorité sur ceux de la mère au cours de la gestation. Cependant, si la mère se retrouve carencée en cet oligoélément, sa capacité à synthétiser des Ig s'en retrouve affectée, le transfert d'immunité passive est de ce fait réduit (Enjalbert, 2009). Les réserves en cuivre, accumulées au cours de la gestation, permettent au veau de couvrir ses besoins lors de ses premières semaines de vie, le lait étant pauvre en cuivre (Gooneratne et al. 1989).

Une carence en cuivre affecte aussi le système immunitaire du veau. Il a été mis en évidence qu'un déficit en cuivre affectait les capacités des neutrophiles à tuer les levures et les bactéries qu'ils avaient phagocytées, comme *Candida albicans* ou *Staphylococcus aureus* expérimentalement (Spears, 2000). L'activité de l'enzyme superoxyde dismutase, qui a une rôle antioxydant en captant les radicaux libres dans le phagolysosome, serait affectée par cette déficience en cuivre (Gooneratne et al. 1989). Les neutrophiles ne présenteraient des difficultés à phagocyter et tuer les bactéries que si la carence en cuivre est induite par un régime riche en molybdène ou en fer (Spears, 2000).

D'autre part, un déficit en cuivre peut conduire à une fragilité osseuse plus importante par diminution de l'activité d'enzymes cupriques telle que la lysyl-oxydase. Cette enzyme, responsable de la formation de liaisons protéiques dans la matrice extracellulaire, ne joue plus son rôle de liaison de la matrice organique constituant les

os. Les os ont alors une architecture protéique modifiée, les rendant plus sensibles aux fractures spontanées (Gooneratne et al. 1989).

Chez les adultes, un des premiers signes de carence en cuivre est une dépigmentation des poils. Les problèmes d'infertilité ne sont pas décrits dans le cadre d'une carence primaire en Cu, mais plutôt lors de carence induite au molybdène (Enjalbert et al. 2006). Aucune relation n'a pu être établie entre le contenu en Ig dans le colostrum et le statut en Cu de la mère (Enjalbert et al. 2006).

C. Zinc

Le zinc est un oligoélément très impliqué métaboliquement. Il catalyse ou stabilise la structure d'enzymes comme l'ARN polymérase ou la carboxypeptidase. Il va également jouer un rôle dans la stabilité des cellules en stabilisant l'ADN et l'ARN ou encore au niveau membranaire. Le zinc est également impliqué dans le métabolisme hormonal. Un lien entre la concentration des hormones de croissance et la concentration plasmatique du zinc a été établi (Graham, 1991).

Il a été montré qu'un des premiers signes cliniques de carence en zinc est la diminution de la prise alimentaire. L'appétit de l'animal est diminué, la croissance de l'animal s'en retrouve alors affectée (Enjalbert et al. 2006).

Des problèmes de reproduction, avec l'augmentation de métrites, de rétention placentaire ou encore le risque d'avortement entraînant des retards à la remise à la reproduction, sont également mis en évidence en cas de carence en cet oligoélément. (Enjalbert et al. 2006)

Au niveau tégumentaire, des lésions de parakératose autour des naseaux et de la bouche sont aussi souvent décrites lors de défaut de couverture des besoins en zinc chez les jeunes ruminants (Graham, 1991).

La carence légère en zinc n'est pas décrite comme affectant la réponse immunitaire à médiation cellulaire ou humorale chez les ruminants. Cependant, une diminution de la sensibilité aux affections respiratoires est mentionnée dans la littérature sur les veaux autour du sevrage lorsqu'une supplémentation en zinc est mise en place (Spears, 2000).

Au cours de la gestation, le transfert placentaire de zinc permet au veau d'avoir une concentration en zinc dans le sang supérieur à celui de sa mère. A la naissance, peu

de carence en zinc sont constatées chez les veaux. La formation d'une réserve en zinc osseuse pendant la gestation est le plus souvent suffisante pour le veau pendant ses premières semaines de vie. Le transfert placentaire de zinc reste cependant peu décrit chez les animaux (Enjalbert, 2009).

D. Iode

L'iode est un composant essentiel des hormones thyroïdiennes : tri-iodothyronine (T3) et thyroxine (T4). Ces hormones thyroïdiennes influencent le développement du fœtus lors de la gestation, comme le développement pulmonaire, mais aussi la croissance du veau (Graham, 1991). Elles sont aussi reliées à l'absorption des IgG dans le tractus digestif (Conneely et al. 2014).

De manière générale, les hormones thyroïdiennes viennent augmenter le métabolisme : la glycolyse, la lipolyse, la fonction cardiaque, la consommation en oxygène...

En cas de carence ou d'excès, les vaches et les veaux peuvent présenter des goitres. Des troubles de la reproduction, un affaiblissement des défenses immunitaires sont également décrits dans des cas de supplémentation excessive.

Les échanges en iode se font facilement entre la mère et le fœtus, sous forme active, pendant la gestation chez les bovins (Graham 1991 ; Conneely et al. 2014) et principalement au cours de la deuxième moitié de la gestation (Enjalbert, 2009). Les déficits en iode ou les excès sont tous les deux préjudiciables aux échanges placentaires. En effet, un défaut d'apport en iode à la mère, la rend plus sensible à la captation d'iode circulante du fait de l'hyperplasie thyroïdienne maternelle qui en découle et donc moins de disponibilité pour le fœtus (Enjalbert, 2009). Inversement, il a été montré qu'un excès d'apport en iode à la mère venait diminuer l'absorption par le veau des Ig présentes dans le colostrum (Enjalbert, 2009).

Le statut en sélénium peut également jouer sur les échanges en iode, les sélénoprotéines étant nécessaires à la dé-iodation de la T4 en T3, forme plus active (Rock et al. 2001).

E. Cobalt

Le cobalt est utilisé par les micro-organismes du rumen pour synthétiser de la vitamine B12 ou cobalamine, cofacteur essentiel à de nombreuses réactions métaboliques (Enjalbert, 2009).

Chez les jeunes veaux, le cobalt va aider à limiter la pression parasitaire. Lorsque les veaux présentent une carence en cobalt, la période prépatente des parasites est réduite et l'excrétion des œufs se retrouve augmentée. Cela a pu être démontré expérimentalement pour *Ostertagia ostertagi* (MacPherson et al. 1987). Le cobalt joue un rôle dans les défenses immunitaires, les neutrophiles sont affectés en cas de carence, ils sont moins efficaces (Spears, 2000).

Les premiers signes de carence en cobalt chez l'adulte sont l'anorexie, une perte de poids, la présence de diarrhée ou encore de la cachexie. Les signes sont plutôt généraux, car le cobalt est au cœur de la néoglucogenèse et de l'hématopoïèse. Le métabolisme des acides nucléiques, des lipides et des glucides se retrouve drastiquement affecté en cas de carence (Graham, 1991).

Le transfert placentaire du cobalt n'est pas décrit chez les bovins. Cependant, expérimentalement, une augmentation d'apport de cobalt à 0,3mg/kg de MS dans la ration de la mère n'augmente pas la concentration sanguine en vitamine B12 chez le veau nouveau-né.

F. Manganèse

Contrairement au cuivre, le fœtus n'a pas la priorité sur la mère concernant le transfert placentaire du manganèse. Si la mère est insuffisamment supplémentée en manganèse, le veau nouveau-né peut souffrir de carences (Enjalbert, 2009).

Le rôle métabolique du manganèse est en lien avec le développement du squelette. Les glycosyltransférases, enzymes participant à l'élaboration de la matrice cartilagineuse du squelette, sont des métalloprotéines dépendantes du manganèse. Cet oligoélément est donc essentiel pour le développement osseux du veau. Des déformations et des fragilités osseuses peuvent être observées dans le cas de carences des veaux en manganèse par chondrodysplasie (SAC Consulting : Veterinary Services, 2013; Graham 1991).

L'absorption du manganèse est plus efficace chez les veaux nouveau-nés par rapport à l'adulte, et elle augmente d'autant plus si son statut en cet oligoélément est faible. L'absorption se fait au niveau intestinal, il peut se retrouver ensuite dans le sang sous forme libre ou sous forme liée à une macroglobuline- α_2 . Le lait contient des protéines stabilisant par liaison le manganèse, facilitant son absorption et son stockage chez le veau nouveau-né (Graham, 1991).

G. Fer

L'érythropoïèse et le système immunitaire sont tous les deux influencés par la concentration en fer dans l'organisme. L'hème de la protéine d'hémoglobine est composé de fer, cet oligoélément est donc un composant majeur des érythrocytes chez les mammifères. Un veau peut présenter une anémie néonatale si le transfert de la mère au fœtus par le placenta ne s'est pas fait correctement pendant la gestation. En effet, une anémie chez la mère causée par un parasitisme intense ou un foyer d'inflammation chronique peuvent être à l'origine d'un défaut de passage de la barrière placentaire (Graham, 1991).

D'autre part, le fer est impliqué dans de nombreuses réactions d'oxydoréduction et de réactions antioxydantes essentielles au système immunitaire (Vlasova, Saif, 2021 ; Gygax et al. 1993). Les veaux en manque de fer sont décrits comme plus sensibles aux maladies respiratoires (Gygax et al. 1993).

Pendant la gestation, un stock de fer est constitué, majoritairement sanguin mais aussi hépatique. La supplémentation en fer de la mère n'est pas un facteur ayant été étudié pour connaître son influence sur le statut en fer du veau (Enjalbert, 2009).

En dehors de la gestation, la voie d'entrée du fer est principalement intestinale. Après sa réduction inorganique en Fe^{3+} , les entérocytes duodénaux vont récupérer le fer par endocytose et le lier aux protéines de transport, telle que la transferrine, pour qu'ensuite elle soit libérée dans la veine porte hépatique. Une fois dans le torrent circulatoire, le fer rejoint les tissus les plus consommateurs que sont le foie, la moelle osseuse ou encore les muscles (Graham, 1991).

3. Besoin des vaches allaitantes en oligoéléments

Les besoins en oligoéléments des vaches allaitantes ont été déterminés selon une approche expérimentale dose-réponse. L'absence de signes de carence, la croissance

ou encore des réponses de productivité sont considérées comme des réponses permettant d'envisager des doses comme couvrant les besoins. Certains besoins en oligoéléments sont décrits avec plus de précision lorsque les concentrations circulantes en enzymes dépendant de l'oligoélément sont mesurables (Delaby et al. 2018).

Par exemple, les besoins pour le cobalt ont pu être affinés en se basant sur le dosage de vitamine B12 dans le foie, pour l'iode avec des dosages sériques de T4 ou de l'élément directement (Delaby et al. 2018). Pour le sélénium, il s'agit d'un constituant de l'enzyme glutathion peroxydase (GSH-Px). Cette enzyme représente la forme fonctionnelle du sélénium, et a une activité principalement érythrocytaire dans le sang (98 % de son activité). L'activité de la GSH-Px érythrocytaire est un marqueur biologique de la bonne couverture des besoins en sélénium sur le long terme (durée de vie d'un érythrocyte, soit 110 j environ) alors que la concentration plasmatique en sélénium est le reflet à court terme, à un instant précis de la couverture des besoins (Enjalbert et al. 1999).

Tableau 2 : Besoins des bovins adultes en oligoéléments (d'après Delaby, Nozière, Sauvant 2018)

Oligoélément	Besoin pour un bovin adulte en mg/j
Co	0,3 x MSI
Cu	10 x MSI
I	0,5 à 0,8 x MSI selon la production pour les animaux en lactation 0,4 à 0,5 x MSI pour les autres stades physiologiques
Mn	50 x MSI
Se	0,1 à 0,2 x MSI (selon la production laitière)
Zn	50 x MSI

MSI : matière sèche ingérée en kg/j

Les carences en fer sont extrêmement rares chez les bovins adultes (Suttle, 2022).

4. Affections du veau non sevré

Dès leur naissance, les veaux se retrouvent en contact avec de nombreux agents pathogènes pouvant être responsables de diarrhées, d'affections pulmonaires ou encore d'omphalites. On parle d'affection néonatale lorsque celle-ci touche le veau dans ses trois premières semaines de vie.

A. Les entérites néonatales du veau

Les entérites ou diarrhées chez les veaux allaitants sont principalement infectieuses. Les causes non infectieuses des diarrhées sont principalement liées à l'utilisation de lait en poudre : mauvais mélange, mauvaise administration... (Heller, Chigerwe, 2018), ce qui n'est pas pratiqué en élevage allaitant.

Plusieurs agents pathogènes sont connus chez le veau pour affecter le tractus digestif et causer des diarrhées selon différents mécanismes. Les signes cliniques seront constatés lorsque les pertes ne sont plus compensées par les apports, entraînant souvent une déshydratation et une hypotension pouvant parfois mener jusqu'à un état de choc. Le veau sera faible, il n'aura plus le réflexe de succion et restera en décubitus. Les désordres vasculaires et électrolytiques rencontrés dans le cadre de diarrhées peuvent causer la mort du veau (Heller, Chigerwe, 2018).

Les agents majeurs de diarrhée chez les veaux nouveau-nés dans les quatre premiers jours de vie sont les *Escherichia coli* entérotoxigènes (ETEC). Ces bactéries présentes dans le milieu sont ingérées, elles viennent ensuite adhérer à l'épithélium digestif grâce à leurs protéines de surface de type F5 (K99). Puis les ETEC sécrètent des toxines responsables des lésions intestinales et de troubles électrolytiques menant à une diarrhée sécrétoire aqueuse (Foster, Smith, 2009). D'autres *E. coli* peuvent être à l'origine de diarrhées hémorragiques, souvent entre 2 jours et 4 semaines d'âge. Ce sont les *E. coli* entérohémorragiques (EHEC). Les autres principales bactéries responsables d'entérites néonatales des veaux sont les *Clostridium perfringens* de type D et les *Salmonella enterica* des sérogroupes B, C, D et E (Heller, Chigerwe 2018).

Les *Rotavirus*, les *Coronavirus* et le Virus responsable de la Diarrhée Virale Bovine (BVDV) sont les virus impliqués dans les diarrhées néonatales. Les Rotavirus et les Coronavirus entraînent des diarrhées de maldigestion et malabsorption par effacement des villosités et avec une composante sécrétoire supplémentaire par prolifération des cellules de la crypte. Les signes cliniques persistent plus longtemps et sont plus sévères lors d'une infection à *Coronavirus* en comparaison au *Rotavirus*. Les veaux peuvent aussi présenter une diarrhée non spécifique peu après le vêlage due au BVDV dans le cadre d'une infection transitoire et non persistante (Heller, Chigerwe, 2018 ; Cho, Yoon, 2014 ; Foster, Smith, 2009).

Les protozoaires *Cryptosporidium* sp et *Giardia* sp peuvent causer des diarrhées néonatales. Les coccidies sont aussi des agents de diarrhées chez les veaux, mais elles touchent des veaux plus âgés au-delà de 1 mois d'âge et les veaux au sevrage (Heller, Chigerwe, 2018 ; Cho, Yoon, 2014).

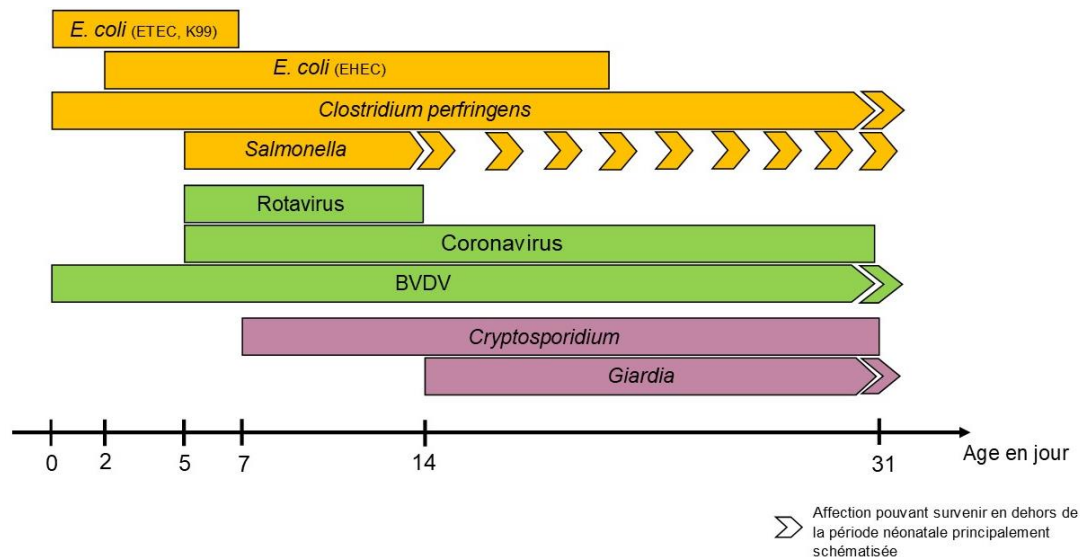


Figure 2 : Principales affections néonatales à l'origine de diarrhées chez le veau au cours du premier mois d'âge d'après Heller, Chigerwe, 2018

En orange, les causes bactériennes ; en vert, les causes virales ; en violet, les protozoaires

B. Les affections respiratoires

Chez les veaux non sevrés, les affections respiratoires sont très souvent causées par des agents infectieux, qui liés à certains facteurs dans le milieu de vie de l'animal vont mener au développement de signes cliniques. De même que pour les diarrhées, les causes non infectieuses entraînant des affections respiratoires sont rares. (Assié et al. 2004)

Les signes cliniques d'appel d'une affection respiratoire sont du jetage nasal, de la toux, de la fièvre, une détresse respiratoire, de l'abattement ou encore de l'anorexie (Brscic et al. 2012). Les principaux agents d'affections pulmonaires sont *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica*, *Haemophilus somnus*, *Mycoplasma bovis*, le Virus Respiratoire Syncytial Bovin (VRSB), Parainfluenza de type 3 et l'Herpès virus bovin de type 1. Ils ont un pouvoir pathogène suffisant pour induire une pneumopathie, mais ils peuvent aussi se retrouver comme facteur de polyinfection. (Bryson, 1985).

Le taux d'incidence d'affections respiratoires pour des veaux dont les mères sont à l'attache est plus faible (0,69) que pour des élevages utilisant une stabulation (1,25-2,27) d'après l'étude d'Assié et al. (2004). L'incidence de ces affections était la plus élevée pour des veaux entre 14 et 20 jours d'âge (Assié et al. 2004). D'autres facteurs de risques liés à l'élevage ont été étudiés comme sa taille, l'entrée de nouvelles vaches dans l'élevage, la désinfection annuelle des bâtiments, etc. (Assié et al. 2009 ; Brscic et al. 2012), et sont autant de facteurs pouvant favoriser l'apparition d'affections pulmonaires dans l'élevage.

C. Autres

En dehors des entérites et des affections respiratoires, les affections les plus rencontrées chez les jeunes veaux sont les infections ombilicales, les arthrites et des septicémies. La contamination par voie ascendante de l'ombilic par une bactérie de l'environnement est à l'origine d'infection ombilicale ou omphalite. Cette infection peut mener à une péritonite et à un phénomène de sepsis menant à la mort du veau. D'autre part, à l'occasion d'une bactériémie chez un veau ou d'une infection directe d'une articulation, une arthrite concernant une ou plusieurs articulations va se développer. Le veau rencontrera des difficultés à se déplacer, sa condition physique en sera affectée (Boyle, Mee, 2021).

5. Méthodes de mesures du transfert d'immunité passive

Plusieurs méthodes de mesure des IgG dans le but d'établir un niveau de transfert d'immunité passive sont décrites dans la littérature. La méthode de référence est celle utilisant l'immunodiffusion radiale inverse. D'autres méthodes, comme l'utilisation du réfractomètre, trouvent une application sur le terrain.

A. La méthode de référence : l'immunodiffusion radiale inverse

Pour mesurer la quantité d'IgG, la méthode de référence couramment utilisée par les laboratoires est l'immunodiffusion radiale inverse peu importe la matrice de l'échantillon (sérum, colostrum...). Cette technique se base sur la formation d'un précipité entre antigène et anticorps. La distance du front de précipitation par rapport au puits d'échantillonnage peut être reliée mathématiquement à la concentration en anticorps. Une plaque est recouverte de gélose contenant une concentration connue

d'antigènes dirigés contre les immunoglobulines G que l'on veut doser. On ajoute le sérum de l'échantillon dont on veut connaître la concentration en IgG dans le puits, et dans les autres puits des échantillons de concentrations connues en IgG. Au bout de 48 à 72 h le front de précipitation est formé, l'ensemble des anticorps et des antigènes ont réagi, la distance de migration est alors lue. Les échantillons de concentrations en IgG connues permettent de créer une courbe d'étalonnage, qui permet de déduire la concentration en IgG de l'échantillon de sérum testé en fonction de la distance de migration. Il est possible de fixer le temps de diffusion à 24 h pour avoir une mesure plus rapidement. Cette méthode possède l'avantage d'être facile à mettre en place, cependant elle prend du temps (24 h au minimum pour une lecture anticipée) et elle est parfois assez imprécise (jusqu'à 10 % de coefficient de variation) (Homburger, Singh, 2008). La spécificité et la sensibilité des autres méthodes de mesure sont souvent basées sur les résultats obtenus par immunodiffusion radiale inverse (Tyler et al. 1996 ; Quigley et al. 2013 ; Deelen et al. 2014).

B. Réfractomètre de Brix

Le réfractomètre de Brix est un instrument de mesure de la teneur en sucres dans les liquides, principalement les jus de fruits. Mais dans des milieux plus complexes ne contenant pas de saccharose, le % Brix permet d'approximer la teneur en solides totaux (Hernandez et al. 2016). Plusieurs études ont permis de déterminer que ce % Brix obtenu pouvait être corrélé à la concentration en IgG du milieu qu'il s'agisse de colostrum ou de sérum (Hernandez et al. 2016 ; Gamsjäger et al. 2020 ; Quigley et al. 2013). Le coefficient de corrélation entre la méthode de référence (immunodiffusion radiale) et la mesure du % BRIX dans le colostrum varie selon l'étude, de $r=0,64$ (Chigerwe et al. 2008) à $r=0,80$ (Vandeputte et al. 2014). L'ensemble des auteurs s'accordent à dire que l'utilisation d'un réfractomètre de Brix est un moyen pratique simple pour déterminer la teneur en IgG dans le colostrum. La corrélation entre % Brix et quantité d'IgG par immunodiffusion radiale a aussi été mise en évidence sur sérum de veau ($r=0,93$, Deelen et al. 2014). Cette mesure est alors une méthode directe, et facile à mettre en œuvre au chevet de l'animal, pour déterminer s'il y a un défaut de transfert d'immunité de la mère au veau.

C. Mesure des protéines totales sériques ou colostrales au réfractomètre

Les protéines totales sériques (STP) sont couramment mesurées à l'aide d'un réfractomètre optique dans le cadre d'explorations biochimiques d'affections cliniques. Elles englobent l'albumine et les globulines. Elles peuvent aussi être mesurées pour évaluer le transfert d'immunité passive chez le veau nouveau-né. Le coefficient de corrélation entre les STP et la concentration en IgG par la méthode de référence sur sérum varie de $r=0,72$ à $r=0,93$ selon l'étude (Deelen et al. 2014). Le réfractomètre optique est aussi utilisé pour évaluer la concentration en protéines totales dans le colostrum afin d'en évaluer la qualité.

D. Autres méthodes

D'autres méthodes de laboratoire ont été étudiées pour évaluer le transfert d'immunité passive, mais sont rarement utilisées dans la pratique courante.

La méthode ELISA est la seule autre méthode quantitative développée, avec l'immunodiffusion radiale inverse, permettant de déterminer la concentration exacte en IgG du sérum du veau. Les autres méthodes, plus qualitatives, s'appuient sur des relations statistiques permettant de savoir si le seuil en IgG permettant un transfert d'immunité passive adéquat a été atteint (Hue et al. 2021). L'ELISA est basée aussi sur la réaction anticorps-antigène et l'établissement d'une gamme et d'une courbe étalon permettant de déduire la concentration en IgG (Béné et al. 2014). Mais cela reste une méthode de laboratoire qui n'est pas adaptée au contexte de test réalisable au chevet du patient dans le cas de la mesure d'IgG dans le sérum de veau.

La mesure de la Gamma-glutamyl transférase (GGT) dans le sang du veau nouveau-né est un indicateur de la prise colostrale. En effet, avant la prise colostrale la GGT est en faible concentration dans le sang du veau, et augmente après la prise colostrale. La concentration en GGT dans le sang du veau semble être reliée à la quantité d'IgG absorbée via le colostrum. Cependant, aucun seuil de concentration en GGT n'a pu être établi pour la mise en évidence d'un défaut de transfert d'immunité passive (Hue et al. 2021 ; Weaver et al. 2000).

Les épreuves de turbidité au sulfate de zinc ou au sulfite de sodium sont basées sur le même principe. Avec des solutions tests de concentrations différentes en sulfate de zinc ou en sulfite de sodium, les protéines de haut poids moléculaire vont précipiter en

fonction de leur poids et selon la concentration utilisée. Le précipité formé vient alors troubler le milieu, c'est cette turbidité du milieu qui va être mesurée et qui permet d'évaluer la concentration en protéine de l'échantillon. L'épreuve à base de sulfite de sodium avec une dilution à 18 % permet de déterminer s'il y a un défaut de transfert d'immunité passive. L'épreuve de turbidité au sulfate de zinc est fortement influencée par l'hémolyse de l'échantillon et le CO₂, ce qui rend ce test difficile à utiliser au chevet de l'animal. Ces deux tests restent lourds à utiliser et peu pratiques en dehors d'un laboratoire (Weaver et al. 2000).

Ces méthodes sont principalement expérimentales, elles n'ont pas trouvé d'application terrain de par leur difficulté de mise en place ou le manque de données ne permettant pas encore leur utilisation fiable pour déterminer un défaut de transfert d'immunité.

6. Transfert d'immunité passive chez le veau

A. Définition du défaut de transfert d'immunité passive

Le défaut de transfert d'immunité passive se définit principalement par un défaut d'absorption des immunoglobulines présentes dans le colostrum (Elsohaby et al. 2019 ; Lombard et al. 2020). La prévalence du défaut de transfert d'immunité atteint 20 à 40 % des veaux selon le type d'élevage et son seuil de définition (Raboisson et al. 2016).

Des seuils de concentration d'IgG dans le sérum du veau ont été établis aux Etats-Unis chez les vaches laitières, ainsi que leurs équivalents en % Brix dans le sérum ou encore en concentration des STP, et servent de consensus.

Tableau 3 : Qualité du transfert d'immunité passive chez les veaux laitiers établie selon le consensus de la concentration en IgG sérique et ses équivalents en concentration de STP et % Brix sérique d'après Lombard et al. 2020

Qualité du transfert d'immunité passive	Concentration IgG sérique (g/L)	Concentration en STP (g/dL)	% Brix sur sérum
Excellente	≥ 25,0	≥ 6,2	≥ 9,4
Bonne	18,0-24,9	5,8-6,1	8,9-9,3
Acceptable	10,0-17,9	5,1-5,7	8,1-8,8
Mauvaise	<10,0	<5,1	<8,1

Des discussions ont été opérées pour déterminer un seuil chez les veaux en troupeau allaitant. Les veaux ayant une concentration sérique en IgG < 24,0 g/L, avaient 3 fois plus de risque de mourir qu'un veau ayant une concentration sérique en IgG supérieure à cette valeur (Dewell et al. 2006).

Peu d'études ont été menées en bovins allaitants quant au seuil définissant le défaut de transfert d'immunité passive.

B. Paramètre influençant le transfert d'immunité passive

Le défaut de transfert d'immunité passive peut avoir différentes origines. Il peut être dû à une faible concentration en immunoglobulines dans le colostrum ou à un défaut de prise colostrale : délai trop long entre la naissance et la prise colostrale, trop faible quantité bue (McGee, Earley, 2019).

La concentration en immunoglobulines dans le colostrum peut varier selon différents paramètres qui ont surtout été étudiés chez la vache laitière. La qualité du colostrum est dépendante de la race de la vache. Les Prim'Holstein produisent un colostrum statistiquement moins riche en IgG que les Jersiaises. Il a aussi été montré qu'en moyenne le colostrum des vaches allaitantes était plus riche que celui des vaches laitières en IgG₁ (Godden, 2008).

L'âge de la mère est un autre paramètre, plus la vache est âgée et plus elle aura été en contact avec les pathogènes spécifiques de son environnement et donc son colostrum sera plus adapté en termes d'anticorps produits au futur milieu de vie du veau (Godden, 2008).

La vaccination pré-partum a aussi un rôle dans la quantité d'Ig contenue dans le colostrum (Godden, 2008 ; McGee, Earley, 2019).

En ce qui concerne le veau, le volume de colostrum ingéré lors de la première tétée et le délai entre celle-ci et la naissance sont deux paramètres décrits comme pouvant mener à un défaut de transfert d'immunité passive. Un certain volume garantit, en général, une quantité ingérée d'Ig permettant un transfert d'immunité correct. La quantité ingérée doit être de 10 à 12 % du poids vif du veau, pour espérer atteindre une quantité d'IgG ingérée de 100 g (Godden, 2008 ; McGee, Earley, 2019).

La barrière intestinale se fermant progressivement dans les 24-48 h après la naissance, cela limite l'absorption des Ig, et donc le délai entre la naissance et la prise

du colostrum apparaît donc bien comme un paramètre influençant le transfert d'immunité passive. Une première prise colostrale dans les premières 3h de vie augmente par des proportions de 1,68, 1,57 et 1,66 les concentrations respectivement en IgG, IgM et IgA sériques chez les veaux (mesurées à 36h de vie) en comparaison avec ceux ayant eu une première prise colostrale après 3h *postpartum* (McGee, Earley, 2019). Le délai de première prise colostrale peut être allongé par les conditions de vêlage. Si le vêlage a nécessité une assistance, le veau a tendance à mettre plus de temps à se lever et à téter (Godden, 2008; McGee, Earley, 2019).

D'autres paramètres influençant le transfert d'immunité passive sont regroupés sur le schéma suivant.

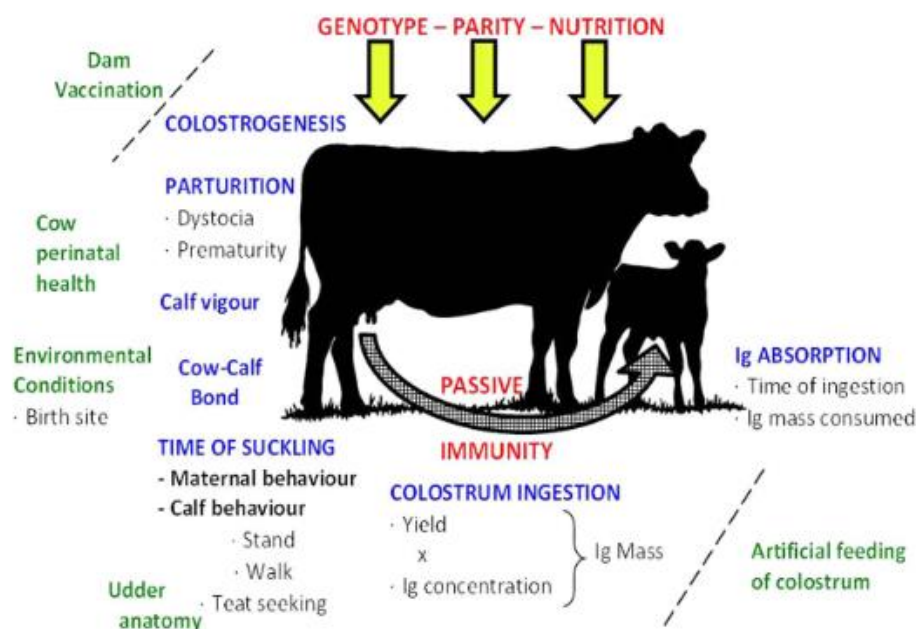


Figure 3 : Schéma montrant les facteurs clé affectant le transfert d'immunité passive chez un veau (McGee, Earley, 2019)

7. Intérêt de la maîtrise du transfert d'immunité chez la vache allaitante

Le bon transfert d'immunité passive permet de diminuer la mortalité et la morbidité des veaux dans le troupeau. Pour les veaux laitiers, des classes de concentrations d'IgG avec une proportion pour chacune à atteindre dans le troupeau ont été établies pour diminuer la mortalité et la morbidité au sein du troupeau dans l'étude de Lombard et al. 2020. Ces pourcentages ont été choisis selon un modèle limitant la morbidité et la mortalité dans l'élevage et tout en restant un objectif atteignable par les éleveurs. Il a

donc été fixé comme consensus que plus de 40 % des veaux doivent appartenir à la catégorie excellente (soit $\geq 25,0$ g/L d'IgG sériques), autour de 30 % des veaux doivent être dans la catégorie bonne (soit entre 18,0 et 24,9 g/L d'IgG sériques), 20 % dans la catégorie acceptable (soit entre 10,0 et 17,9 g/L d'IgG sériques) et moins de 10 % dans la catégorie mauvaise (soit < 10 g/L d'IgG sériques) (Lombard et al. 2020).

Pour les veaux allaitants, les catégories n'ont pas été autant détaillées. Mais l'éleveur a un intérêt économique certain à s'assurer que le transfert d'immunité passive a été correctement réalisé. En effet, le coût moyen d'un défaut de transfert d'immunité passive a été évalué à 80 €/veau pour un éleveur de bovins allaitant (Raboisson et al. 2016).

Deuxième partie : étude rétrospective et résultats

1. Cadre de l'étude

A. Description de la population

La population d'étude est composée de 15 élevages bovins allaitants du département du Cantal (15). Chacun de ces élevages a été suivi sur la période de vêlage 2020-2021. Chaque numéro correspond à un élevage, ce numéro sert à l'identifier au cours de l'étude. Les principales caractéristiques de ces élevages sont détaillées ci-dessous :

Tableau 4 : Caractéristiques des élevages bovins allaitants suivis et répartition des veaux suivis par élevage

Elevage	Nombre de vêlages/an	Races des représentées l'élevage	veaux dans	Type de production principal Cahier des charges particulier	Nombre de veaux inclus
1	115	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	50
2	70	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	50
3	40	Salers		Veau sous la mère/sélection génétique Agriculture biologique	14
4	115	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	81
5	70	Salers ; Salers x Charolais		Broutard <i>Label rouge</i>	50
6	140	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	62
7	90	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	49
8	130	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	50
9	100	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	50
10	55	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	47
11	60	Salers		Broutard <i>Label rouge</i>	50
12	80	Salers ; Salers x Charolais		Broutard	50
13	110	Salers ; Salers x Charolais		Broutard <i>Label rouge</i>	50
14	65	Aubrac		Broutard <i>Label rouge</i>	50
15	125	Salers ; Salers x Charolais		Broutard <i>Label rouge</i>	50

Ces élevages sont suivis par la même clinique vétérinaire (Clinique vétérinaire des Mazets à Riom-ès-Montagnes). Les mères des veaux inclus dans l'étude ont été sélectionnées au hasard dans l'élevage avant vêlage, la seule condition étant une date de vêlage compatible avec la présence de la mère en étable et non en pâture. Au total 753 veaux ont été inclus dans l'étude. Ils sont tous nés en étable, entre l'automne 2020 et le printemps 2021. Ils ont été suivis de leur naissance jusqu'à leur vente autour de 7-8 mois d'âge, avec un suivi particulier par le vétérinaire concernant les maladies de leur naissance jusqu'à l'âge de 3 semaines.

B. Données collectées

Pour chaque veau, les données suivantes étaient collectées :

- L'identification du veau
- La date de naissance
- Le sexe
- La race
- Le rang de parité de la mère

Les naissances s'étalaient de novembre 2020 à mars 2021, avec une amplitude de durée de la période de vêlage variable d'un élevage à l'autre.

L'éleveur devait communiquer pour chaque veau les éléments concernant les conditions de vêlage, la présence ou non d'un jumeau, le délai entre la naissance et la prise colostrale (<2 h ; entre 2 h et 6 h ; > 6 h) et le poids de naissance du veau.

Une prise de sang pour chaque veau a été réalisée sur tube sec dans les 24-48 h suivant la naissance par un vétérinaire. Après formation du caillot sanguin dans le tube, le % Brix était lu sur sérum à l'aide d'un réfractomètre de Brix optique et une mesure de STP en g/L était également réalisée sur un réfractomètre optique classique.

Si la vache était coopérative, l'éleveur récupérait du colostrum dans les premières heures suivant la parturition. Le % Brix du colostrum était alors lu par le vétérinaire à l'aide d'un réfractomètre de Brix optique. Seuls les élevages 1 (n = 44/50), 3 (n = 14/14), 4 (n = 81/81), 6 (n = 62/62), 11 (n = 1/50) et 15 (n = 16/50) ont pu communiquer des échantillons de colostrum pour réaliser ces mesures de % Brix.

Chaque éleveur a fait le relevé des événements sanitaires rencontrés par les veaux de l'étude selon le modèle établi en Annexe 1. Si une réhydratation orale ou

intraveineuse était réalisée sur le veau en cas de diarrhée sévère, l'éleveur le rapportait sur la fiche du veau correspondante. Tous les autres traitements reçus par le veau étaient notifiés sur cette même fiche.

Les pratiques de supplémentation des mères en oligoéléments ont été aussi collectées. L'éleveur devait dire s'il en avait fait une, avec quel type de produit (bolus, granulés...), la durée d'administration, la quantité d'administration et la composition du produit en Zn, Mn, Cu, Se, Co, I, et Fe. La supplémentation en oligoéléments, si elle était réalisée, se faisait dès la rentrée à l'étable, sous forme de cure pour ceux utilisant des granulés, ou de façon continue sur plusieurs mois pour ceux utilisant les bolus. La supplémentation était prise en compte jusqu'au vêlage. Aucun apport en oligoélément supplémentaire n'a été rapporté en période de pâturage.

En utilisant les données collectées, la morbidité a été définie comme tout événement infectieux de type diarrhée, pneumonie, omphalite ou autre, enregistré sur la période d'étude, autrement dit entre la naissance et la mise à l'herbe.

C. Hypothèses de travail

Les élevages sélectionnés appartiennent à la même clientèle vétérinaire et se situent dans le même département. Leurs fonctionnements sont similaires dans les pratiques d'élevage, les vaches sont rentrées en étable pour passer la mauvaise saison entre le 10 novembre et le 1^{er} décembre selon l'élevage, et ce jusqu'au 15 avril voire au 25 mai. Les vaches sont maintenues à l'attache et/ou en stabulation libre. Elles reçoivent toutes du foin issu de prairies permanentes des environs comme base de leur alimentation hivernale. De l'enrubanné, issu des mêmes prairies, est donné en complément dans certains élevages. Seule la supplémentation en oligoélément était vraiment dépendante de l'élevage.

Nous sommes partis de l'hypothèse que l'alimentation de base de l'ensemble des 15 élevages était suffisamment homogène entre élevages pour ne pas être un facteur de variation notable, et que seules les pratiques de supplémentation des mères en oligoéléments différaient (produit, durée d'administration, présentation).

2. Résultats

L'ensemble des analyses univariées, l'élaboration et l'analyse du modèle logistique ont été réalisées avec le logiciel RStudio. Les graphiques ont été construits avec le logiciel Excel.

A. Analyse descriptive

Sur les 753 veaux inclus dans l'étude, l'effectif était composé de 355 femelles et de 398 mâles. D'après le test du Chi-2 réalisé (p -value > 0,05), il n'y a pas de différence significative entre le nombre de femelles et de mâles parmi les veaux de l'étude.

a. Evénements sanitaires et mortalité

Dans l'effectif étudié, 314 individus ont présenté au moins un événement sanitaire de type diarrhée, pneumopathie ou autre (septicémie, omphalite, méningite...). Les événements sanitaires de type diarrhée ont été rapportés pour $n=172/753$ individus, ceux de type pneumopathie ont été recensés pour $n=86/753$ veaux et enfin les événements autres ont concerné $n=124/753$ veaux. La répartition de ces événements sanitaire par élevage est illustrée sur la figure suivante.

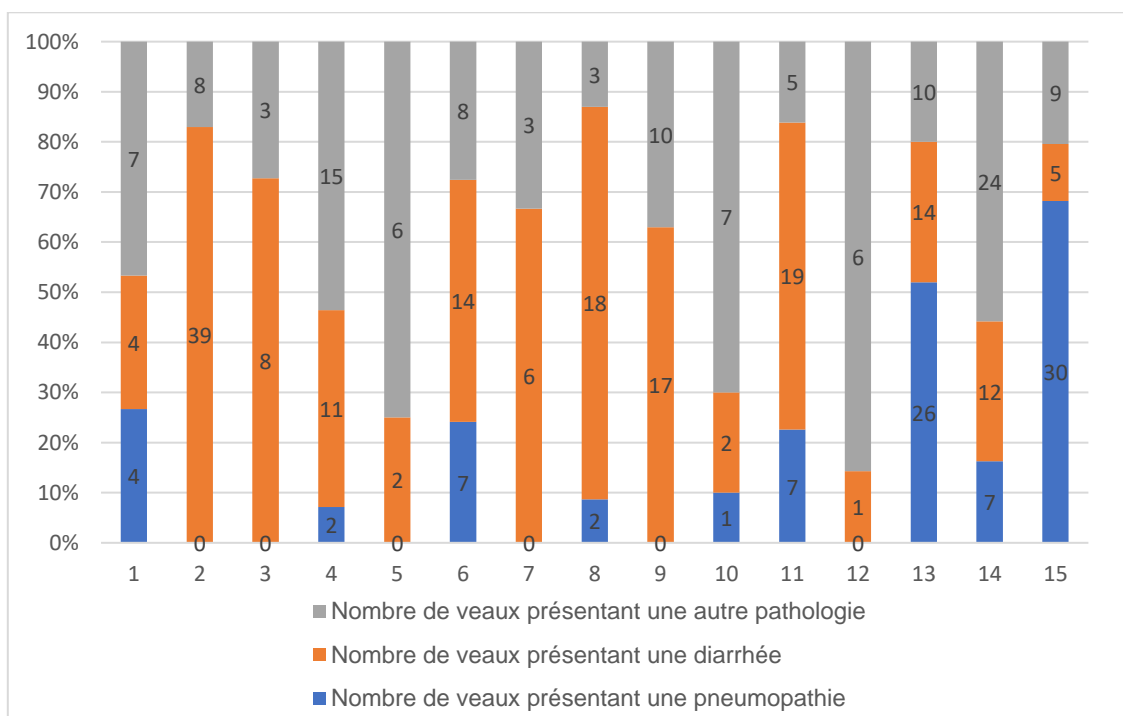


Figure 4 : Représentation graphique de la répartition des événements sanitaires (pneumopathie, diarrhée, autre) rencontrés par les veaux en fonction de leur élevage d'origine

Les élevages 2, 3, 5, 7, 9 et 12 n'ont pas présenté d'épisode de pneumopathie parmi les veaux étudiés.

Certains veaux cumulent plusieurs événements sanitaires, de type diarrhée-pneumonie (nombre de veaux cumulant ces événements = 17/314) ou diarrhée-autre (nombre de veaux cumulant ces événements = 25/314) ou pneumonie-autre (n=13/314) ou encore diarrhée-pneumonie-autre (nombre de veaux cumulant ces événements = 6/314). Le cumul de plusieurs événements sanitaires n'est pas pris en compte dans la variable morbidité, qui prend la valeur 1 si le veau a présenté au moins un événement sanitaire et 0 s'il n'a pas été malade sur la période étudiée.

Au cours de l'étude, 18 veaux sont décédés de causes variées : 2 des suites d'une coccidiose, 1 a été euthanasié, car il présentait des signes neurologiques (paralysie), 1 d'entérotoxémie, 7 de diarrhée, 1 d'insuffisance rénale aiguë, 1 de septicémie ayant pour origine une omphalite, 2 du cumul de diarrhée et de pneumopathie associées, 1 d'une méningite, 1 des suites d'un vêlage compliqué et 1 de cause inconnue.

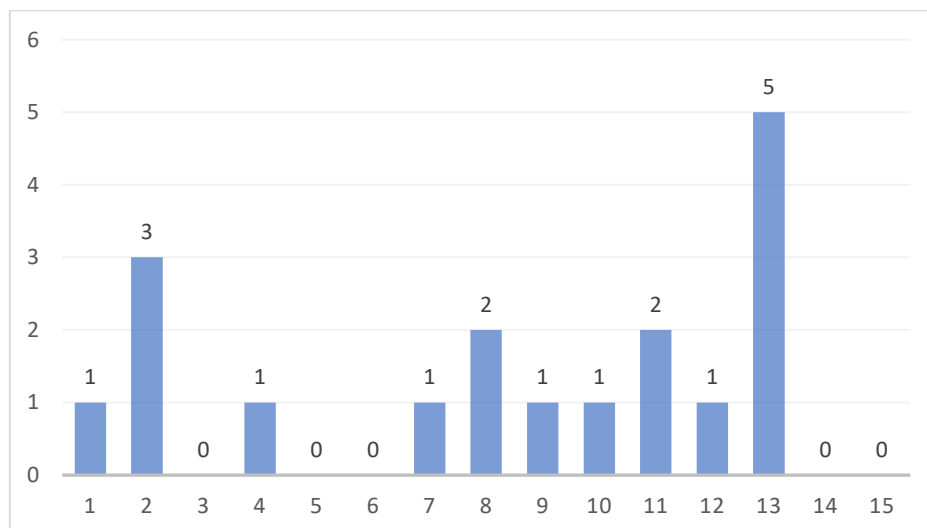


Figure 5 : Répartition du nombre de veaux morts par élevage

b. Gémellité

Seuls 8 veaux de l'effectif sont des jumeaux soit environ 1 % de l'effectif total. Tous les jumeaux appartiennent à l'élevage 4. De par cette répartition et du fait que le taux soit loin des 3-4 % attendus selon la littérature (Ménissier, Frebling, 1974 ; Cabrera, Fricke, 2021), cette variable n'a pas été intégrée dans le modèle statistique.

c. Conditions de vêlage

Les conditions de vêlage ont été classifiées en 4 catégories :

- 1 : Vêlage sans assistance
- 2 : Vêlage ayant nécessité une assistance légère (mains)
- 3 : Vêlage ayant nécessité une assistance importante (vêlease)

- 4 : Vêlage ayant nécessité l'intervention du vétérinaire

Sur les 753 vêlages, seuls 2 ont nécessité l'intervention du vétérinaire (élevages 5 et 15), 10 ont nécessité une assistance importante et 19 une assistance légère. Le reste des vêlages soient 722 n'a pas nécessité d'intervention de la part de l'éleveur. Dans les élevages 2, 7, 11 et 13, la seule condition de vêlage rencontrée est celle sans assistance.

- d. Parité de la mère

La donnée sur la parité de la mère était disponible pour 686 veaux. La parité allait de 1 à 8, avec une médiane de 3. Pour $n=148/686$ vaches il s'agissait de leur premier vêlage, pour $n=165/686$ il s'agissait de leur 2^e veau, pour $n=80/686$ du 3^e, pour $n=65/686$ du 4^e, pour $n=57/686$ du 5^e, pour $n=48/686$ du 6^e, pour $n=34/686$ du 7^e et enfin pour $n=89/686$ du 8^e veau.

- e. Prise colostrale

Pour environ 35 % de l'effectif ($n=262/753$), le délai entre la naissance et la prise colostrale n'a pas pu être fourni par l'éleveur. La prise colostrale s'est faite dans les 2h suivant la naissance pour 58 % des veaux ($n=434/753$). Elle a été réalisée par 6 % de l'effectif total ($n=46/753$) entre 2h et 6h suivant la parturition et 1 % au-delà de 6h ($n=11/753$).

- f. % Brix dans le sérum du veau

Le % Brix mesuré pour chaque veau, dans son sérum, prend comme valeur médiane 9,1 %, comme valeur minimale 5,2 % (élevage 7) et comme valeur maximale 11,6% (élevage 13).

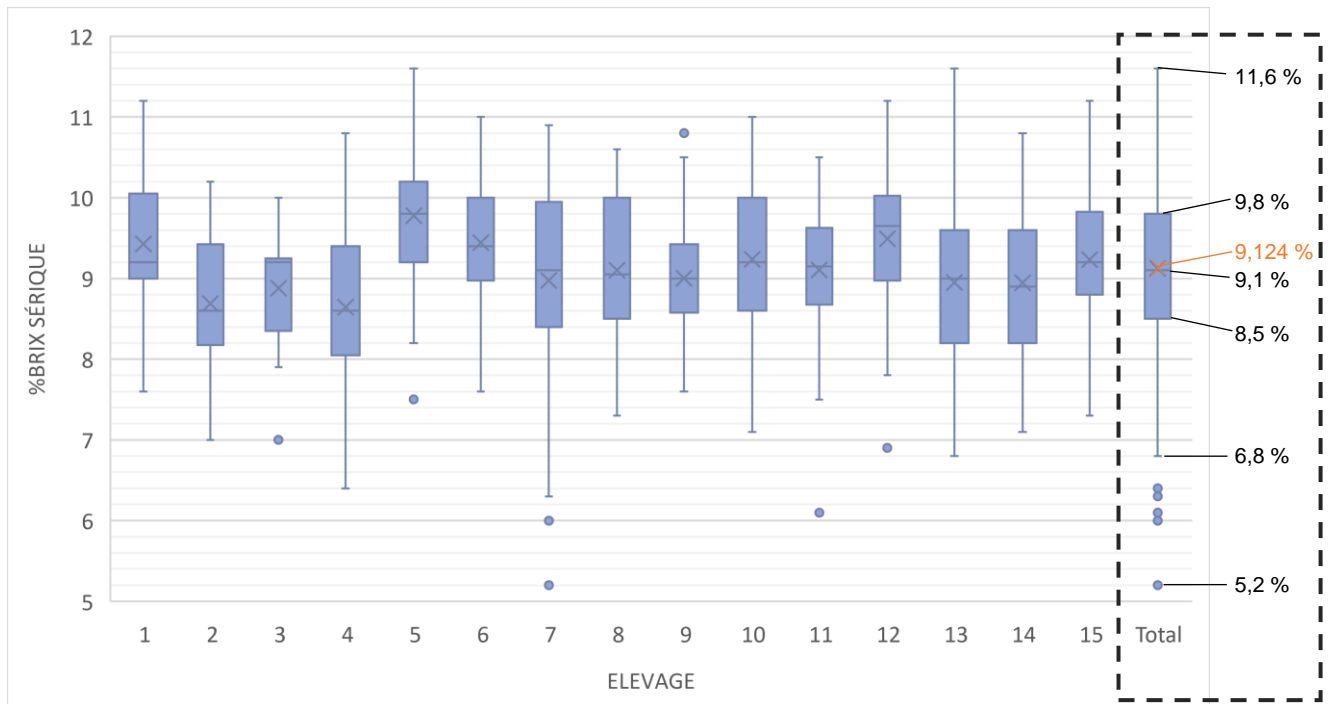


Figure 6 : Boîtes à moustache des % Brix sériques par élevage et sur le total de l'effectif
En orange la valeur de la moyenne

On a alors 50% des veaux sur l'effectif total qui ont un % Brix sérique supérieur ou égal à 9,1%, soit équivalent à une concentration en IgG supérieure ou égale à la catégorie « bonne » de 18,0-24,9 g/L de l'étude de Lombard et al. (2020) sur les veaux laitiers et proches de la valeur seuil établie par Dewell et al. (2006) pour les veaux allaitants.

g. Concentration des protéines totales sériques (en g/L) chez les veaux

La valeur médiane en STP de l'effectif est de 59 g/L, pour une valeur minimale de 35 g/L et une valeur maximale de 78 g/L. Le nuage de points entre les concentrations en STP et le % Brix dans le sérum est représentée ci-dessous.

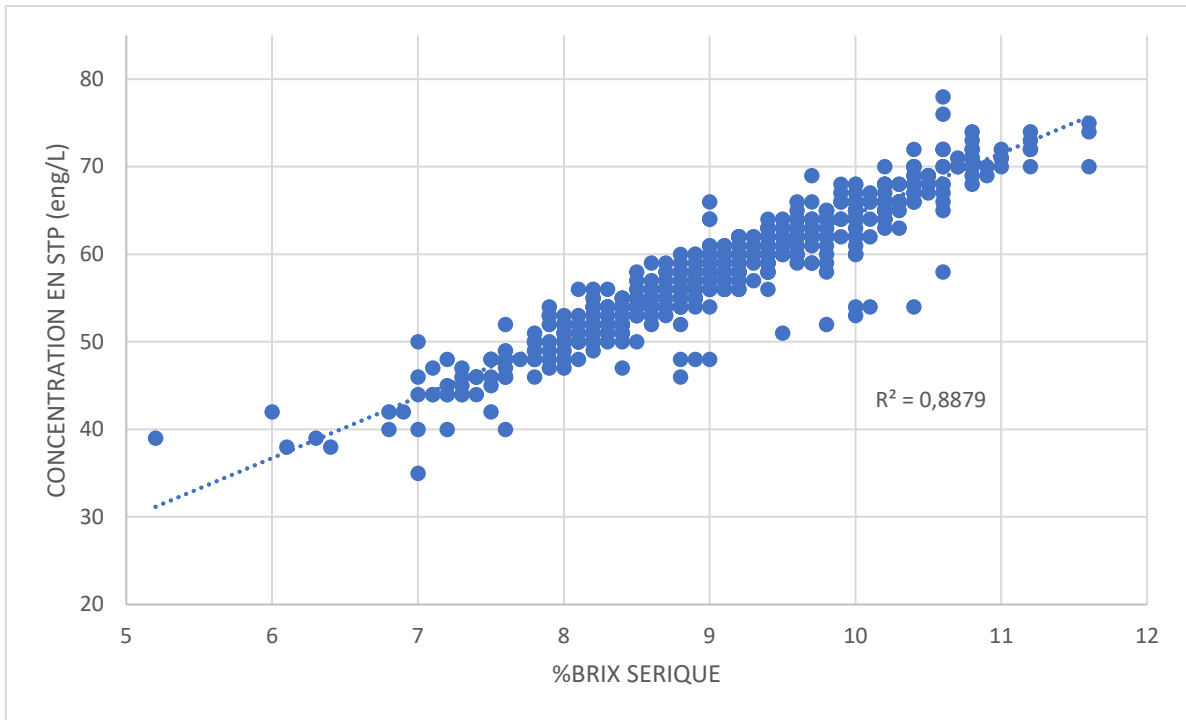


Figure 7 : Relation entre la concentration en STP (en g/L) et le % Brix sérique chez les veaux
Coefficient de régression linéaire $R^2 = 0,8879$

Le coefficient de régression obtenu est $R^2=0,8879$. La concentration en STP est positivement corrélée au % Brix sérique dans cette étude.

h. % Brix dans le colostrum de la mère

Le nombre de vaches prélevées afin de réaliser une mesure de % Brix sur le colostrum est très variable entre élevages. Seuls les élevages 1 (n=44/50), 3 (n=14/14), 4 (n=81/81), 6 (n=62/62), 11 (n=1/50) et 15 (n=16/50) ont pu prélever et envoyer des échantillons. Au total, 218 échantillons de colostrum ont pu être prélevés et ont permis d'avoir des mesures de % Brix colostrale.

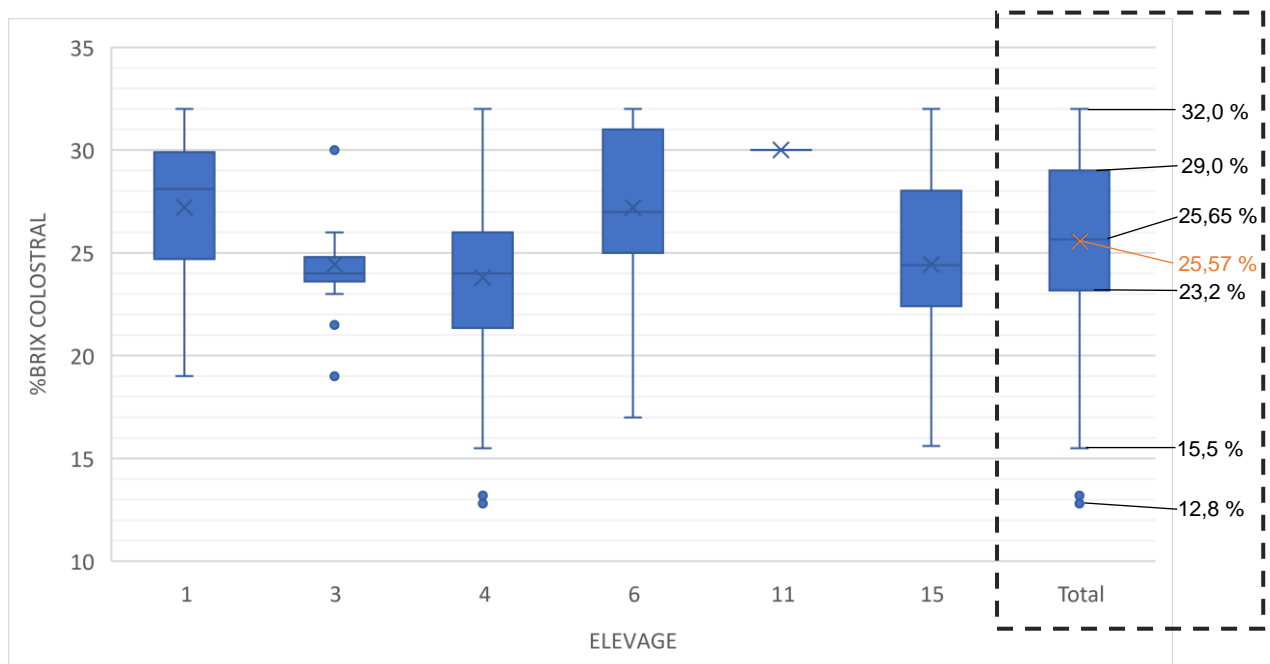


Figure 8 : Boîtes à moustache des % Brix colostraux par élevage et sur le total de l'effectif
En orange, la valeur de la moyenne

La médiane de 25,65% permet d'établir que 50% de l'effectif a reçu du colostrum contenant au moins 100g/L d'IgG d'après l'étude de (Gamsjäger et al. 2020), donc un colostrum qui permettait de couvrir les besoins du veau en IgG (sous réserve d'une première prise colostrale dans les délais et d'une quantité bue suffisante). Le premier quartile indique une valeur de % Brix colostral de 23,2%, donc 25% de l'effectif des mères a produit un colostrum avec une concentration faible en IgG (<100g/L d'IgG d'après (Gamsjäger et al. 2020) et ne permettant pas de couvrir les besoins en IgG du veau.

i. Supplémentation de la mère en Cuivre, Zinc, Manganèse, Cobalt, Iode, Sélénium et Fer

Sur l'effectif total, 13% des mères n'étaient pas supplémentées (élevages 2 et 8), elles ne recevaient aucun oligoélément en dehors de ceux contenus dans le fourrage qu'elles avaient à disposition. La supplémentation des autres élevages se présentait sous forme de bolus pour les élevages 3, 10 et 12. Pour l'élevage 6, la supplémentation était directement incluse dans les concentrés (aliment complémentaire). Pour les autres élevages pratiquant une supplémentation en oligoéléments, la supplémentation était sous forme de granulés en plus des concentrés si l'éleveur en donnait. Seule la supplémentation des élevages 4 et 11 comportait du fer. La supplémentation en fer n'a pas été prise en compte lors du traitement des données, les carences en fer étant

rare et le besoin en fer non défini pour les vaches adultes dans les recommandations d'alimentation de l'INRA (2018).

La quantité reçue par chaque vache entre la rentrée à l'étable et le vêlage en chacun des oligoéléments a été calculée.

Tableau 5 : Moyenne de la supplémentation en oligoéléments (en mg/j) reçue entre la rentrée à l'étable et le vêlage par élevage

Elevage	Moyenne Cu (mg/j)	Moyenne Zn (mg/j)	Moyenne Mn (mg/j)	Moyenne I (mg/j)	Moyenne Se (mg/j)	Moyenne Co (mg/j)
1	65,4	261,4	183,0	26,1	1,3	2,6
2	<i>Pas de supplémentation en CE</i>					
3	100,0	247,7	89,0	48,3	7,5	5,6
4	42,9	240,9	177,9	17,1	3,2	12,4
5	154,8	619,3	433,5	61,9	3,1	6,2
6	146,0	686,0	544,0	11,6	1,3	2,5
7	38,3	374,3	127,8	10,3	0,6	1,7
8	<i>Pas de supplémentation en CE</i>					
9	153,2	766,2	459,7	24,5	5,5	6,7
10	92,5	324,9	18,1	20,3	3,1	3,8
11	21,2	106,1	88,0	8,5	1,6	1,4
12	106,0	163,0	0	32,0	2,0	6,0
13	784,6	596,3	0	94,1	3,1	31,4
14	76,0	300,8	251,4	26,8	2,7	4,3
15	132,7	530,8	371,6	53,1	2,7	5,3
Besoins*	130	650	650	6,5	1,3	3,9

* calculés pour une quantité de matière sèche ingérée de 13kg/j, selon le Tableau 2

Vert : ≥100% des besoins couverts ; Orange : 50%-100% plus des besoins couverts ; Rouge : < 50% des besoins couverts

Aucun des élevages de l'étude ne couvre la totalité des besoins en oligoéléments via la complémentation. Les élevages 5, 6, 9 et 15 couvrent 50% des besoins et plus sur l'ensemble des oligoéléments. Le besoin en manganèse est celui le moins bien couvert sur l'ensemble des élevages.

Les apports en oligoéléments sont pour la majorité corrélés, deux à deux, à cause de la formulation commerciale des produits utilisés. Seul l'apport en manganèse n'est pas corrélé avec celui en sélénium (p-value = 0,58), car dans les élevages 12 et 13, la supplémentation ne comporte pas de manganèse dans sa formulation.

B. Analyses univariées et construction du modèle

Pour chaque variable disponible, une analyse univariée a été réalisée dans le but de rechercher des associations entre la morbidité et la variable testée. Ces analyses ont été réalisées sous forme de modèle logistique à une seule variable explicative de la morbidité. Si la p-value globale obtenue était $p < 0,2$, alors la variable était sélectionnée pour faire partie du modèle explicatif de la morbidité. Certaines variables ont été « forcées » dans le modèle final.

Si pour une variable fixée, la donnée n'était pas disponible pour un veau alors elle n'était pas prise en compte dans les calculs par le logiciel.

Tableau 6 : Résultats des différents modèles de régression logistique à une seule variable explicative de la morbidité

Variable étudiée	Nombre d'observations	p-value	Prise en compte dans le modèle final
Elevage	753	$< 2,2 \times 10^{-16}$	Effet aléatoire
Sexe	753	0,05372	Effet fixe
Parité de la mère	686	0,7318	Non pris en compte
Condition de vêlage	753	0,2853	Non pris en compte
Prise colostrale	491	0,7738	Non pris en compte
% Brix sérique	753	$9,748 \times 10^{-8}$	Effet fixe
STP	753	$1,062 \times 10^{-6}$	Non pris en compte
% Brix colostrum	218	0,7702	Non pris en compte
Poids de naissance	739	0,4457	Non pris en compte
Supplémentation Cu *	753	$7,34 \times 10^{-5}$	Effet fixe
Supplémentation Zn *	753	0,3133	<i>Effet fixe</i>
Supplémentation Mn *	753	0,7642	<i>Effet fixe</i>
Supplémentation Co *	753	0,08721	Effet fixe
Supplémentation I *	753	0,001671	Effet fixe
Supplémentation Se *	753	0,0004355	Effet fixe

En gras, les *p-values* $< 0,2$

*supplémentation reçue calculée en quantité entre la rentrée en étable de la mère et le vêlage

a. Effet aléatoire

Les veaux étudiés et leurs mères étaient répartis dans 15 élevages du Cantal, de la même clientèle vétérinaire (voir Tableau 4).

La régression logistique cherchant à expliquer la morbidité par l'origine de l'élevage a une p-value globale très inférieure à 0,2. L'effet élevage étant fort, la variable élevage a été intégrée au modèle comme effet aléatoire.

b. Variables non sélectionnées dans le modèle final

Les p-values des modèles de régression logistique expliquant la morbidité ne permettent pas de sélectionner les variables suivantes : parité de la mère, condition de vêlage, prise colostrale, % Brix dans le colostrum et le poids de naissance. En effet, leurs p-values respectives sont supérieures à 0,2 donc elles ne sont pas corrélées avec la morbidité observée.

La concentration en STP n'est pas prise en compte dans le modèle final, bien que sa p-value soit $<0,2$, car elle représente une autre mesure du % Brix sérique (Figure 7). Le % Brix sérique semble avoir une meilleure corrélation à la morbidité que la concentration en STP.

c. Variables sélectionnées dans le modèle

Les variables sélectionnées sur la $p\text{-value} < 0,2$ sont : le sexe, le % Brix, la supplémentation en Cu, Co, I et Se.

La supplémentation en Zn et celle en Mn n'ont pas une $p\text{-value} < 0,2$, mais elles seront conservées dans le modèle, car elles ont un intérêt pour étudier les facteurs liés à la supplémentation en oligoéléments.

L'ensemble de ces variables vont définir les effets fixes du modèle.

d. Construction du modèle

Un modèle de régression logistique généralisé à effets mixtes (fixe et aléatoire) a été utilisé pour évaluer les associations entre les variables sélectionnées et la morbidité.

L'écriture du modèle 1 était la suivante :

$$\text{Morbidité} \sim \text{Sexe du veau} + \% \text{ Brix sérique} + \text{Supp. Zn} + \text{Supp. Mn} + \text{Supp. Cu} \\ + \text{Supp. Se} + \text{Supp. Co} + \text{Supp. I} + (1 | \text{Elevage})$$

La morbidité prenant la valeur de 0 si le veau n'avait pas présenté d'événement sanitaire et 1 s'il en avait présenté un. La variable morbidité suit une distribution de loi binomiale. La fonction Logit fera le lien entre la morbidité et les autres variables sélectionnées.

C. Exploitation du modèle

La supplémentation en iode s'est révélée être le seul paramètre non significatif pour le modèle 1, avec un p-value de 0,55. Le critère d'information d'Akaike (AIC) était de 895,5. Ce critère d'information permet de comparer différents modèles candidats et de conserver celui avec le meilleur ajustement, autrement dit celui avec le plus faible AIC.

Un second modèle ne tenant pas compte de cette supplémentation en iode a alors été testé :

Modèle 2 : Morbidité ~ Sexe du veau + % Brix sérique + Supp. Zn + Supp. Mn
+ Supp. Cu + Supp. Se + Supp. Co + (1| Elevage)

Les coefficients obtenus ainsi que l'intervalle de confiance à 95% correspondant appartiennent à l'échelle Logit. L'utilisation de la fonction inverse de Logit a permis d'obtenir les Odds ratio ainsi que leur intervalle de confiance à 95%. Ce second modèle possède un meilleur AIC, valant 894,3. Ce second modèle est, de ce fait, le modèle le plus adapté des deux pour décrire la morbidité du jeu de données utilisé.

Tableau 7 : Résultat du modèle généralisé linéaire mixte cherchant à expliquer la morbidité selon le modèle 2 : Morbidité ~ Sexe du veau + % Brix sérique + Supp. Zn + Supp. Mn + Supp. Cu + Supp. Se + Supp. Co + (1| Elevage)

	p-value	Estimation du coefficient	Intervalle de confiance à 95% du coefficient	Odd ratio	Intervalle de confiance à 95% de l'Odd ratio
Intercept	0,00338	2,93	[0,97 ; 4,89]	18,78	[2,64 ; 133,50]
Mâle	0,13240	0,26	[-0,08 ; 0,59]	1,29	[0,93 ; 1,81]
% Brix sérique	6,36 x10⁻⁵	-0,40	[-0,60 ; - 0,20]	0,67	[0,55 ; 0,82]
Supp. Cu	0,03675	0,27	[0,02 ; 0,53]	1,31	[1,02 ; 1,69]
Supp. Mn	0,02416	0,12	[0,02 ; 0,22]	1,12	[1,02 ; 1,24]
Supp. Zn	0,00801	-0,14	[-0,24 ; -0,04]	0,87	[0,79 ; 0,97]
Supp. Co	0,00302	0,11	[0,04 ; 0,19]	1,12	[1,04 ; 1,21]
Supp. Se	0,08888	-0,52	[-1,12 ; 0,08]	0,59	[0,33 ; 1,08]

*Nombre d'observations = 753 ; Nombre d'élevages = 15 ; en gris, les coefficients appartenant à l'échelle logit de lecture ; En gras, les **p-values** < 0,2*

Les interprétations de ce tableau de valeurs ne sont valables qu'en tenant compte de l'effet aléatoire de l'élevage et en fixant les autres variables.

Le fait que le veau soit un mâle augmente les risques de présenter un événement sanitaire d'un facteur de 1,29. Cela s'explique par la prise en compte des événements sanitaires de type « autre » comme les omphalites auxquels les veaux mâles sont plus sujets. En effet, lorsqu'on exclut les omphalites des événements sanitaires, l'analyse univariée entre la morbidité et le sexe du veau n'est plus significative (p-value = 0,4517). Le sexe du veau n'est plus une variable explicative de la morbidité si on exclut les omphalites.

Pour le gain d'un point de % Brix sérique, le risque de présenter un épisode sanitaire pour le veau est diminué d'un facteur de 0,67. Le taux de morbidité selon le % Brix sérique est représenté sur la figure suivante, ainsi que les classes de qualité de transfert d'immunité passive définies par Lombard et al. (2020).

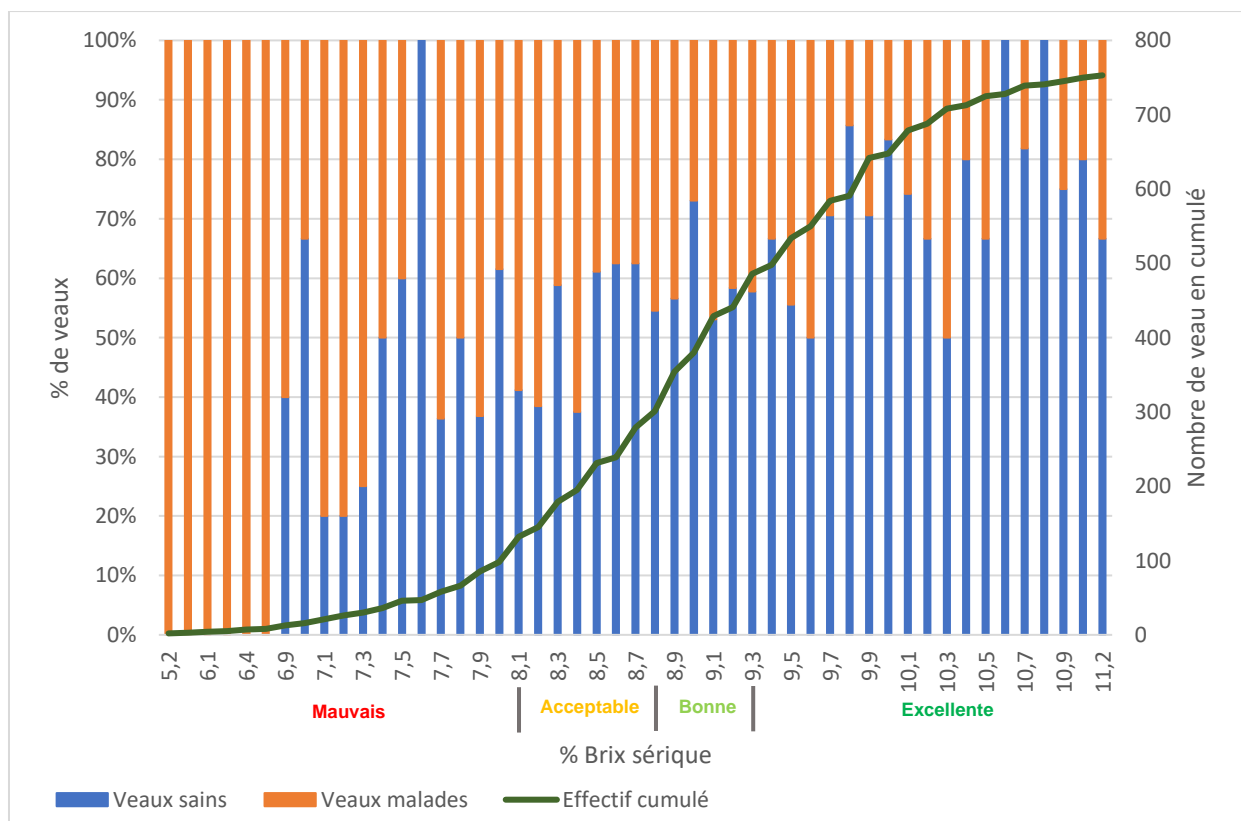


Figure 9 : Pourcentage de veaux sains et malades en fonction de leur %Brix sérique

Mauvais – Acceptable – Bonne – Excellente : qualité du transfert d'immunité passive selon Lombard et al. (2020)

50% des veaux de l'effectif n'ont pas présenté d'événement sanitaire pour un % Brix de 9,1 et plus, soit pour une concentration en IgG $\geq 24,2$ g/L.

Une supplémentation en Zn et en Se semble avoir aussi pour effet de diminuer le risque de présenter un événement sanitaire, respectivement selon un facteur de 0,87 et de 0,59. Alors que les autres types de supplémentation de la mère en Cu, Mn, et Co semblent au contraire augmenter ce risque par un facteur 1,31, 1,12 et 1,12 respectivement.

Le fait que le Cu ne soit pas un oligoélément protecteur va à l'encontre de l'étude d'Enjalbert et al. (2006), qui le décrit comme un oligoélément augmentant le risque de diarrhée chez les veaux si les mères sont carencées.

Il existe des interactions entre certains oligoéléments qui peuvent être délétères pour l'organisme. Les taux de supplémentation à atteindre pour voir apparaître ces interactions sont encore mal connus, mais elles sont décrites pour le Cu et le Zn. D'autres interactions entre le Cu et le soufre, ou le molybdène, ou encore le fer, peuvent avoir un effet négatif sur l'absorption du Cu (Gooneratne et al. 1989) sans avoir pu être pris en compte dans cette étude.

D. Morbidité et ses conséquences

L'intérêt économique de l'éleveur à favoriser un bon transfert d'immunité passive se retrouve dans cette étude à deux niveaux : la diminution du gain moyen quotidien (GMQ) chez les veaux ayant présenté un événement sanitaire, et l'utilisation de traitements (antibiotiques ou autres) chez ces mêmes veaux entraînant un surcoût à l'éleveur.

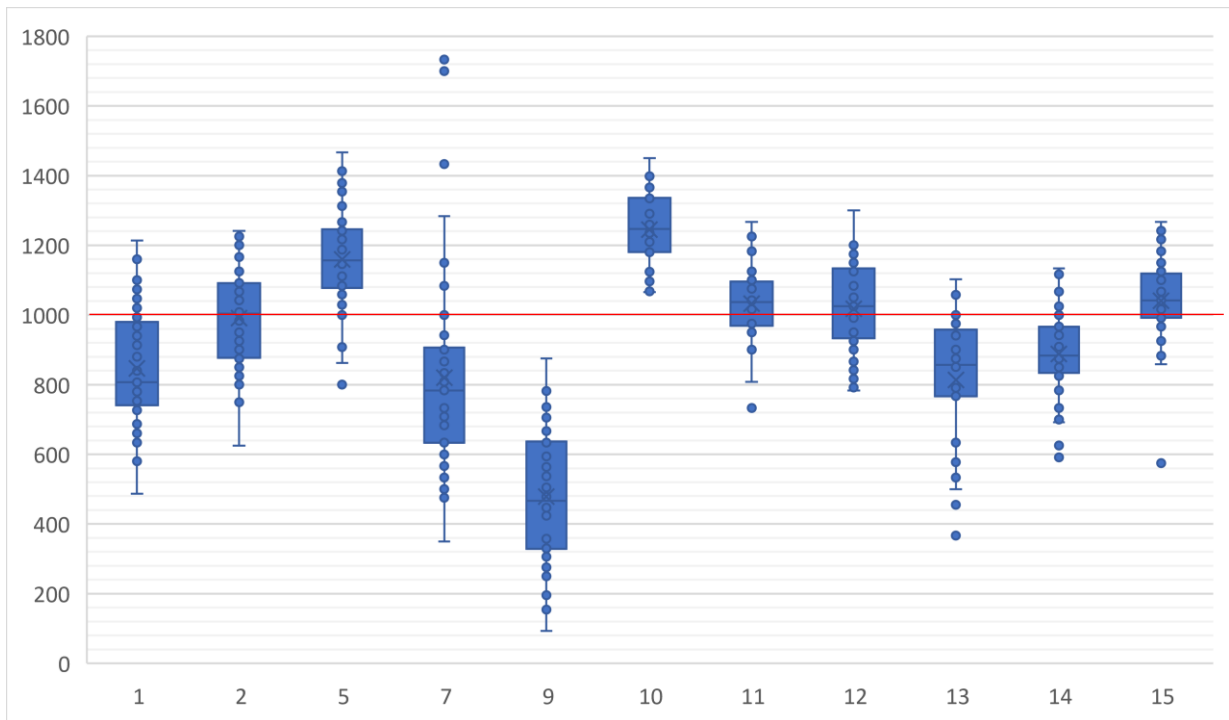


Figure 10 : Boîtes à moustache des GMQ à 4 mois d'âge (en g/j) selon l'élevage
 Ligne rouge : GMQ moyen attendu de 0 à 120 j pour des veaux de race Charolaise et Salers selon Blachon et al. (2020)

Le GMQ est fortement corrélé à la morbidité ($p\text{-value} = 1,46 \times 10^{-5}$). Le GMQ était d'autant plus élevé que les animaux n'avaient pas présenté d'événement sanitaire.

D'autre part, seuls 38 veaux ayant présenté un événement sanitaire sur les 314 n'ont pas reçu de traitement. Le fait de recevoir un traitement est fortement corrélé à la morbidité, $p\text{-value} < 0,2$.

Un seul veau sain a reçu un traitement (Tonarsyl ND) pour soutenir la fonction cardiaque, suite à un vêlage ayant nécessité une assistance importante.

Troisième partie : discussion

1. Intérêt et limites de l'étude

A. Représentativité de l'échantillon

La base de données s'appuie sur la clientèle d'une clinique vétérinaire et repose sur des éleveurs volontaires. La sélection des élevages n'est donc pas aléatoire, même si au sein de chacun, les veaux ont été choisis de manière aléatoire. Cependant, cette méthode d'échantillonnage a permis de récupérer des données sur 753 individus d'une même zone d'élevage ce qui représente une population importante.

La majorité des études sur le transfert d'immunité passive portent sur des populations de bovins d'Amérique du Nord où les pratiques d'élevage sont davantage standardisées et dont la taille moyenne du troupeau est supérieure à la moyenne française. L'étude de Waldner et Rosengren (2009) au Canada avait permis, avec un échantillon de 935 veaux allaitants, de déterminer le seuil de 24g/L d'IgG dans le sang pour caractériser un transfert d'immunité passive correct. On se rapproche de ce chiffre avec cette étude, mais on reste loin du nombre de veaux recrutés pour les études en élevages laitiers avec par exemple celle de Lombard et al. (2020) établissant les normes en IgG (en g/L) recoupant les informations de 2360 veaux.

B. Représentativité du modèle

Le modèle établi pour expliquer la morbidité est dépendant du jeu de données. Les coefficients obtenus dans le modèle 2 sont une approximation des coefficients dépendant de l'échantillonnage réalisé. Des méthodes de *bootstrapping* peuvent permettre un rééchantillonnage multiple des données afin d'obtenir plusieurs approximations de ces coefficients du modèle. En utilisant ces approximations des coefficients, on obtient des coefficients et leurs intervalles de confiance dont les valeurs sont affinées. Le modèle deviendrait alors davantage représentatif des variables qu'il implique (UCLA : Statistical Consulting Group. 2021a).

Le fait que le sexe ressorte comme une variable expliquant la morbidité peut être discuté. En effet, les événements « autre » ayant été pris en compte, les omphalites auxquelles les veaux mâles sont plus sensibles font ressortir cette variable du modèle. Même si une relation de cause à effet, entre un défaut de transfert d'immunité passive

et l'apparition d'une omphalite, par la diminution des défenses du veau contre le pathogène est décrite (Nouvel 2015). Il aurait pu être intéressant de faire la différence entre les types d'affections, pour ne pas avoir qu'une morbidité globale sur les pneumopathie, les diarrhées et les typés « autres ». Cependant, ce choix n'a pas été réalisé car, par exemple, une des complications d'omphalite est le développement de diarrhées ou de polyarthrites (Nouvel, 2015), ce qui reviendrait si on faisait une morbidité séparée à compter cet événement en diarrhée également, alors que la cause initiale est une omphalite. Les données se télescoperaient.

D'autre part, pour ce qui est des événements de type diarrhée, selon la sensibilité des éleveurs à les traiter rapidement et de l'agent infectieux mis en cause, les traitements mis en œuvre ne sont pas les mêmes et n'ont pas la même implication financière pour l'éleveur. La morbidité ne pourrait pas être le seul élément pris en compte dans les diarrhées, il faudrait également prendre en compte leur sévérité. Un score de gravité selon la nécessité de perfuser le veau, de réaliser une réhydratation par voie entérale, la durée de la diarrhée ou encore le type de traitement utilisé pour traiter un veau atteint de diarrhée pourrait se concevoir afin de modéliser les diarrhées en plus des autres facteurs étudiés dans le modèle (%Brix sérique, supplémentation de la mère, etc.).

Des variables potentiellement d'intérêt n'ont pas pu être intégrées au modèle, car ne ressortant pas des analyses univariées, comme la présence/absence d'un jumeau ou encore les conditions de vêlage, car les données étaient probablement trop uniformes. Le taux de gémellité observé de 1% sur l'effectif est plus faible que celui rapporté dans la littérature de 3-4% (Ménissier, Frebling, 1974 ; Cabrera, Fricke, 2021). De même, 96% des vêlages de l'effectif se sont déroulés sans assistance. Les résultats de vêlage des vaches rustiques (Salers ou Aubrac) sont une des caractéristiques recherchées, car elles affichent un nombre de vêlage / % de vaches présentes dans l'élevage supérieur à 100% et donc supérieur aux vaches charolaises. Dans le Massif central, 99,3% pour le nombre de vêlage rapporté au nombre de vaches sur l'élevage pour les vaches charolaises, contre 105,6% pour les naisseurs Salers et mixtes (Blachon et al. 2020).

C. Limites de l'élevage allaitant

L'élevage allaitant est globalement moins contrôlé comparé à l'élevage laitier. Les données concernant le lait sont analysées quotidiennement en élevage laitier, afin de s'assurer qu'il peut être commercialisé, mais aussi de plus en plus à des buts d'évaluation de la santé animale : évaluer si la vache a une mammite, à quel stade du cycle elle se situe pour savoir si elle peut être remise à la reproduction, etc. Ce ne sont pas des pratiques mises en place pour la majorité des élevages allaitants, les vaches n'allant pas à la traite. Beaucoup d'éleveurs fonctionnent avec des saillies naturelles, la durée de gestation est donc connue approximativement. Or elle est décrite comme pouvant affecter le développement du système immunitaire. Un veau prématuré sera encore plus sensible qu'un veau à terme aux affections (Cortese, 2009). Ce paramètre n'était pas évaluable et ne peut donc pas être pris en compte en élevage allaitant.

D'autres informations concernant le colostrum auraient pu être intéressantes à connaître pour en déterminer sa qualité comme sa couleur. Une couleur rougeâtre du colostrum, signe une probable richesse de celui-ci en cellules sanguines qui sont décrites pour exacerber les diarrhées à Gram – (Cortese, 2009). Sauf que peu d'éleveurs peuvent prélever du colostrum sur leur vaches allaitantes et ils sont par ailleurs peu sensibilisés à cet aspect de qualité du colostrum par la couleur (Cortese, 2009). Cependant pour les éleveurs qui montrent un intérêt dans la gestion du colostrum, le % Brix colostrale, qui peut être facilement déterminé, peut les aider dans la prise de décision concernant la remise à la reproduction l'année suivante de la vache. En effet, pour l'élevage 4 avec le plus de données de % Brix colostrale disponibles, il s'est avéré que rétrospectivement les vaches avec les % Brix colostraux les plus faibles avaient été éliminées du troupeau pour la saison de vêlage 2021-2022. Ces vaches avaient des mammites récidivantes sur un ou plusieurs quartiers ou avaient un tissu mammaire modifié de façon iatrogène (Lotagen solution ND) ou encore des veaux en mauvaise santé par exemple.

2. Biais

A. Recueil des données

Le principal biais de cette étude provient du recueil d'information. Les données ont été récupérées par plusieurs acteurs : vétérinaires, éleveurs, techniciens et étudiants vétérinaires. Et certaines données ont été récupérées a posteriori de la période

d'étude, presque un an après le premier vêlage. Cela est la cause d'un certain nombre d'imprécisions.

Les éleveurs n'ont pas tous la même sensibilité par rapport aux affections. Certains sont très interventionnistes et portent une attention plus que journalière à la santé de leur veau. D'autres sont moins sensibles et ont pu rapporter moins d'événements sanitaires sur leurs veaux. Pour certains, l'utilisation d'un classeur avec les fiches de chaque veau manquait de praticité, les pesées des veaux n'étaient par exemple pas rapportées. Le gain moyen quotidien (GMQ) à l'âge de 4 mois n'a pu être calculé pour tous les veaux, seuls 69% ont pu l'être. De même, les pratiques d'élevage et la docilité des vaches différent d'un élevage à l'autre et n'ont pas permis probablement d'avoir suffisamment de données sur le colostrum ou de délais connus entre la naissance et la prise colostrale pour que l'importance de ces paramètres ressortent dans l'étude.

B. Données concernant l'alimentation

L'alimentation a été considérée comme similaire d'un élevage à l'autre, car tous appartenaient à la même zone géographique. Cependant, certains éleveurs faisaient analyser leurs fourrages pour adapter les quantités distribuées et l'apport en concentrés, afin de couvrir au mieux les besoins de leurs vaches. Les apports en oligoéléments sont donc différents eux aussi en fonction du fourrage apporté, mais ils ne sont jamais dosés dans les fourrages en pratique. Seules les quantités apportées par une supplémentation choisie par l'éleveur permettent d'avoir une idée des quantités en oligoéléments reçues.

L'apparition de maladies telles que des myopathies, des déformations osseuses ou des troubles répétés de la reproduction peuvent faire penser à des carences au sein du troupeau en Se, Zn, Mn, Cu, I, Co ou Cu. Cependant, ces données n'ont pas été documentées.

Des dosages d'oligoéléments sur des mélanges de prises de sang de mères avaient été réalisés en décembre, et renouvelés en mars, afin d'avoir une idée du statut en oligoéléments du troupeau. Des élevages de l'étude étaient carencés en étale sur les mesures de décembre en cuivre, ou sélénium ou encore en iode. L'ensemble de l'effectif étudié ne partait donc pas du même statut en oligoélément. D'autre part, lors de nouvelles quantifications en mars, les statuts pour les différents oligoéléments

avaient évolué, à la hausse pour la mesure de la glutathion peroxydase, mais à la baisse la plupart du temps pour ce qui est de la mesure de l'iode inorganique.

Par ailleurs, la supplémentation des veaux dès leur naissance qui pouvait éventuellement pallier les défauts de transfert des oligoéléments pendant la gestation n'a pas été prise en compte. Elle était réalisée dans 12 des élevages de l'étude. Dans chacun des 12 élevages, la moitié des veaux recevaient une supplémentation en Zn, Mn, Se et Cu sous forme injectable (Multimin ND), et l'autre moitié du Se par voie orale (Orosel ND).

C. Pression d'infection

Chaque élevage a son mode d'organisation en ce qui concerne les vêlages. Certains préfèrent qu'ils soient groupés en une ou plusieurs périodes et d'autres plus étalés sur la saison. Cela a pour effet d'avoir plus ou moins de veaux du même âge ou au contraire des veaux d'âges très différents dans l'élevage considéré. D'autre part, le fait que les vêlages se déroulent lorsque les animaux sont confinés à l'étable peut contribuer à augmenter la pression d'infection. Le bâtiment et l'âge des animaux sont des critères explicatifs de la distinction entre les cas d'affections pulmonaires successifs ou d'épidémie (Assié et al. 2004). L'hygiène du bâtiment (paillage, désinfection box de vêlage...) et les bonnes pratiques d'élevages (désinfection du cordon ombilical à la naissance) participent à limiter les affections comme les omphalites (Nouvel, 2015).

Cette pression d'infection propre à chaque élevage aurait été intéressante à évaluer sous la forme d'une visite d'élevage à la période des vêlages, pour déterminer l'ambiance du bâtiment, évaluer la quantité de paille journalière utilisée pour pailler, les interactions possibles entre les veaux de même âge et d'âges différents, ainsi que le schéma d'apparition des différents événements sanitaires à l'échelle du troupeau.

L'utilisation de vaccins n'a pas été prise en compte dans l'étude, alors qu'ils permettent de diminuer la sensibilité aux affections contre lesquelles on les utilise. La vaccination de la mère peut dans le cas de certains vaccins contre les diarrhées stimuler la production d'Ig qui passeront dans le colostrum et conféreront une meilleure immunité au veau ou sinon permettront de favoriser l'immunité globale du troupeau vis-à-vis du pathogène contre lequel il se retrouve vacciné. (Cortese, 2009)

Cependant les données ayant été récupérées pour la plupart a posteriori de la période d'intérêt, une telle évaluation n'était pas réalisable.

Conclusion

Le transfert d'immunité passive de la mère au veau constitue un élément important dans la santé du veau. Il passe par la teneur des immunoglobulines dans le colostrum et par leur absorption, mais aussi par la présence en oligoéléments dans celui-ci, essentiels au métabolisme et au bon fonctionnement du système immunitaire.

L'étude a révélé que la lecture d'un %Brix sérique pouvait donner une indication à l'éleveur quant à ce transfert d'immunité passive, et que la supplémentation pré-partum des mères était essentielle dans la bonne santé du veau. Le fait que le veau soit un mâle le rend plus sensible aux affections de type omphalites que les femelles, mais le sexe n'est plus une variable influençant la morbidité si on exclut ce type d'événement sanitaire.

La gestion du transfert d'immunité passive doit s'envisager à l'échelle du troupeau afin de limiter la morbidité et la mortalité préjudiciables à l'éleveur de bovins allaitants. Des proportions à atteindre dans le troupeau pour chaque seuil de concentrations en Ig (excellent/bon/acceptable/mauvais), comme ceux déjà établis de façon consensuelle en élevage laitier, seraient intéressantes à déterminer pour les élevages allaitants.

Mais un défaut de transfert d'immunité passive n'est pas une fatalité à l'échelle individuelle, certains praticiens pratiquent des transfusions de la mère au veau en cas d'une telle suspicion.

Liste des références bibliographiques

ASSIÉ, Sébastien, BAREILLE, Nathalie, BEAUDEAU, François et SEEGERS, Henri, 2009. Management- and housing-related risk factors of respiratory disorders in non-weaned French Charolais calves. *Preventive Veterinary Medicine*. octobre 2009. Vol. 91, n° 2-4, pp. 218-225. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.06.003.

ASSIÉ, Sébastien, SEEGERS, Henri et BEAUDEAU, François, 2004. Incidence of respiratory disorders during housing in non-weaned Charolais calves in cow-calf farms of Pays de la Loire (western France). *Preventive Veterinary Medicine*. mai 2004. Vol. 63, n° 3-4, pp. 271-282. DOI 10.1016/j.prevetmed.2004.01.014.

AWADEH, F T, KINCAID, R L et JOHNSON, K A, 1998. Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *Journal of Animal Science*. 1998. Vol. 76, n° 4, pp. 1204. DOI 10.2527/1998.7641204x.

BÉNÉ, Marie-Christine, DROUET, Christian, FISSON, Sylvain et SEILLÈS, Estelle, 2014. Techniques sans traceurs. In : *Méthodes en immunologie: des principes aux bonnes applications*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson. pp. 24-39. ISBN 978-2-294-74159-3. 616.079

BLACHON, Aurélie, LAPOSTOLLE, Léa, LOMELET, Bénilde, ODEN, Didier, LECOMTE, Christophe et DIMON, Philippe, 2020. Résultats 2019 des élevages bovins viande suivis par Bovins Croissance. *Bovin croissance*. 2020. pp. 70.

BOYLE, Laura A. et MEE, John F., 2021. Factors Affecting the Welfare of Unweaned Dairy Calves Destined for Early Slaughter and Abattoir Animal-Based Indicators Reflecting Their Welfare On-Farm. *Frontiers in Veterinary Science*. 16 avril 2021. Vol. 8, pp. 645537. DOI 10.3389/fvets.2021.645537.

BRSCIC, M., LERUSTE, H., HEUTINCK, L.F.M., BOKKERS, E.A.M., WOLTHUIS-FILLERUP, M., STOCKHOFE, N., GOTTARDO, F., LENSINK, B.J., COZZI, G. et VAN REENEN, C.G., 2012. Prevalence of respiratory disorders in veal calves and potential risk factors. *Journal of Dairy Science*. mai 2012. Vol. 95, n° 5, pp. 2753-2764. DOI 10.3168/jds.2011-4699.

BRYSON, D. G., 1985. Calf pneumonia. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. juillet 1985. Vol. 1, n° 2, pp. 237-257. DOI 10.1016/s0749-0720(15)31326-8.

CABRERA, Victor E. et FRICKE, Paul M., 2021. Economics of Twin Pregnancies in Dairy Cattle. *Animals*. 20 février 2021. Vol. 11, n° 2, pp. 552. DOI 10.3390/ani11020552.

CHIGERWE, Munashe, TYLER, Jeff W., MIDDLETON, John R., SPAIN, James N., DILL, Jeffrey S. et STEEVENS, Barry J., 2008. Comparison of four methods to assess colostral IgG concentration in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. septembre 2008. Vol. 233, n° 5, pp. 761-766. DOI 10.2460/javma.233.5.761.

CHO, Yong-il et YOON, Kyoung-Jin, 2014. An overview of calf diarrhea - infectious etiology, diagnosis, and intervention. *Journal of Veterinary Science*. 2014. Vol. 15, n° 1, pp. 1. DOI 10.4142/jvs.2014.15.1.1.

CONNELLY, M., BERRY, D.P., SAYERS, R., MURPHY, J.P., DOHERTY, M.L., LORENZ, I. et KENNEDY, E., 2014. Does iodine supplementation of the prepartum dairy cow diet affect serum immunoglobulin G concentration, iodine, and health status of the calf? *Journal of Dairy Science*. août 2014. Vol. 97, n° 8, pp. 5120-5130. DOI 10.3168/jds.2013-7867.

CORTESE, Victor S., 2009. Neonatal Immunology. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2009. Vol. 25, n° 1, pp. 221-227. DOI 10.1016/j.cvfa.2008.10.003.

DEELEN, S.M., OLLIVETT, T.L., HAINES, D.M. et LESLIE, K.E., 2014. Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*. juin 2014. Vol. 97, n° 6, pp. 3838-3844. DOI 10.3168/jds.2014-7939.

DELABY, Luc, NOZIÈRE, Pierre et SAUVANT, Daniel, 2018. *Alimentation des ruminants : INRA 2018* [en ligne]. Editions Quae. [Consulté le 26 juillet 2022]. ISBN 978-2-7592-2867-6. Disponible à l'adresse : <https://univ-toulouse-scholarvox-com.gorgone.univ-toulouse.fr/book/88863541#>

DEWELL, René D., HUNGERFORD, Laura L., KEEN, James E., LAEGREID, William W., GRIFFIN, D. Dee, RUPP, Gary P. et GROTELUESCHEN, Dale M., 2006. Association of neonatal serum immunoglobulin G1 concentration with health and performance in beef calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 mars 2006. Vol. 228, n° 6, pp. 914-921. DOI 10.2460/javma.228.6.914.

DROKE, E. A. et LOERCH, S. C., 1989. Effects of Parenteral Selenium and Vitamin E on Performance, Health and Humoral Immune Response of Steers New to the Feedlot Environment. *Journal of Animal Science*. 1989. Vol. 67, n° 5, pp. 1350. DOI 10.2527/jas1989.6751350x.

ELSOHABY, I., MCCLURE, J.T., WAITE, L.A., CAMERON, M., HEIDER, L.C. et KEEFFE, G.P., 2019. Using serum and plasma samples to assess failure of transfer of passive immunity in dairy calves. *Journal of Dairy Science*. janvier 2019. Vol. 102, n° 1, pp. 567-577. DOI 10.3168/jds.2018-15070.

ENJALBERT, F., 2009. Objectifs nutritionnels péri-partum et transferts des micro-nutriments. In : *Journées nationales du GTV*.

ENJALBERT, F., LEBRETON, P. et SALAT, O., 2006. Effects of copper, zinc and selenium status on performance and health in commercial dairy and beef herds: retrospective study. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. décembre 2006. Vol. 90, n° 11-12, pp. 459-466. DOI 10.1111/j.1439-0396.2006.00627.x.

ENJALBERT, F., LEBRETON, P., SALAT, O. et SCHELCHER, F., 1999. Effects of pre- or postpartum selenium supplementation on selenium status in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science*. 1999. Vol. 77, n° 1, pp. 223. DOI 10.2527/1999.771223x.

- FOLEY, J.A. et OTTERBY, D.E., 1978. Availability, Storage, Treatment, Composition, and Feeding Value of Surplus Colostrum: A Review. *Journal of Dairy Science*. août 1978. Vol. 61, n° 8, pp. 1033-1060. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(78)83686-8.
- FOSTER, D.M. et SMITH, Geof W., 2009. Pathophysiology of Diarrhea in Calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2009. Vol. 25, n° 1, pp. 13-36. DOI 10.1016/j.cvfa.2008.10.013.
- GAMSJÄGER, Lisa, ELSOHABY, Ibrahim, PEARSON, Jennifer M., LEVY, Michel, PAJOR, Edmond A., HAINES, Deborah M. et WINDEYER, M. Claire, 2020. Assessment of Brix refractometry to estimate immunoglobulin G concentration in beef cow colostrum. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. juillet 2020. Vol. 34, n° 4, pp. 1662-1673. DOI 10.1111/jvim.15805.
- GILLES, Aurélie, LEBRETON, Pascal et TROEGELER, Annabelle, 2009. Effets d'une supplémentation en iode et sélénium de la vache gestante sur les statuts en oligo-éléments et immunitaire du veau nouveau-né. *Revue Méd. Vét.* 2009. pp. 9.
- GODDEN, Sandra, 2008. Colostrum Management for Dairy Calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2008. Vol. 24, n° 1, pp. 19-39. DOI 10.1016/j.cvfa.2007.10.005.
- GOONERATNE, S. R., BUCKLEY, W. T. et CHRISTENSEN, D. A., 1989. REVIEW OF COPPER DEFICIENCY AND METABOLISM IN RUMINANTS. *Canadian Journal of Animal Science*. 1 décembre 1989. Vol. 69, n° 4, pp. 819-845. DOI 10.4141/cjas89-096.
- GRAHAM, Thomas W., 1991. Trace Element Deficiencies in Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 1991. Vol. 7, n° 1, pp. 153-215. DOI 10.1016/S0749-0720(15)30816-1.
- GYGAX, M., HIRNI, H., WAHLEN, R. Z., LAZARY, S. et BLUM, J.W., 1993. Immune Functions of Veal Calves fed low Amounts of Iron*. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 12 février 1993. Vol. 40, n° 1-10, pp. 345-358. DOI 10.1111/j.1439-0442.1993.tb00638.x.
- HELLER, Meera C. et CHIGERWE, Munashe, 2018. Diagnosis and Treatment of Infectious Enteritis in Neonatal and Juvenile Ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2018. Vol. 34, n° 1, pp. 101-117. DOI 10.1016/j.cvfa.2017.08.001.
- HERNANDEZ, D., NYDAM, D.V., GODDEN, S.M., BRISTOL, L.S., KRYZER, A., RANUM, J. et SCHAEFER, D., 2016. Brix refractometry in serum as a measure of failure of passive transfer compared to measured immunoglobulin G and total protein by refractometry in serum from dairy calves. *The Veterinary Journal*. mai 2016. Vol. 211, pp. 82-87. DOI 10.1016/j.tvjl.2015.11.004.
- HOMBURGER, Henry A. et SINGH, Ravinder Jit, 2008. Assessment of proteins of the immune system. In : *Clinical Immunology* [en ligne]. Elsevier. pp. 1419-1434. [Consulté le 25 juillet 2022]. ISBN 978-0-323-04404-2. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978032304404210096X>
- HUE, Do T., WILLIAMS, John L., PETROVSKI, Kiro et BOTTEMA, Cynthia D. K., 2021. Predicting colostrum and calf blood components based on refractometry. *The Journal of Dairy Research*. mai 2021. Vol. 88, n° 2, pp. 194-200. DOI 10.1017/S0022029921000340.

IWARSSON, K., BENGTSSON, G. et EKMAN, L., 1973. Iodine content in colostrum and milk of cows and sows. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 1973. Vol. 14, n° 2, pp. 254-262.

KAUP, F.-J., DROMMER, W., JOCHIMS, K. et PICKEL, M., 1996. Ultrastructure of Pre- and Postcolostral Enterocytes of the Newborn Calf. *Anatomia, Histologia, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series C*. décembre 1996. Vol. 25, n° 4, pp. 249-255. DOI 10.1111/j.1439-0264.1996.tb00088.x.

LOMBARD, J., URIE, N., GARRY, F., GODDEN, S., QUIGLEY, J., EARLEYWINE, T., MCGUIRK, S., MOORE, D., BRANAN, M., CHAMORRO, M., SMITH, G., SHIVLEY, C., CATHERMAN, D., HAINES, D., HEINRICH, A.J., JAMES, R., MAAS, J. et STERNER, K., 2020. Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science*. août 2020. Vol. 103, n° 8, pp. 7611-7624. DOI 10.3168/jds.2019-17955.

MACPHERSON, A., GRAY, D., MITCHELL, G.B.B. et TAYLOR, C.N., 1987. Ostertagia infection and neutrophil function in cobalt-deficient and cobalt-supplemented cattle. *British Veterinary Journal*. juillet 1987. Vol. 143, n° 4, pp. 348-353. DOI 10.1016/0007-1935(87)90069-8.

MCGEE, M. et EARLEY, B., 2019. Review: passive immunity in beef-suckler calves. *Animal*. 2019. Vol. 13, n° 4, pp. 810-825. DOI 10.1017/S1751731118003026.

MÉNISSIER, F. et FREBLING, J., 1974. APTITUDE A LA GÉMELLITÉ DES RACES A VIANDE FRANÇAISES: OBSERVATIONS EN ÉLEVAGE ET CONSTITUTION D'UN TROUPEAU DE SÉLECTION. . 1974. pp. 2.

NOUVEL, Mariam, 2015. *Pathologie ombilicale du veau : évaluation de la valeur prédictive de l'outil échographique et correspondance entre images échographiques, palpation abdominale et observations chirurgicales*. Thèse de doctorat vétérinaire. Toulouse : Université Paul SABATIER.

PANOUSIS, N., KARATZIAS, H., ROUBIES, N., PAPASTERIADIS, A. et FRYDAS, S., 2001. Effect of selenium and vitamin E on antibody production by dairy cows vaccinated against *Escherichia coli*. *Veterinary Record*. novembre 2001. Vol. 149, n° 21, pp. 643-646. DOI 10.1136/vr.149.21.643.

PRZYBYLSKA, J., ALBERA, E. et KANKOFER, M., 2007. Antioxidants in Bovine Colostrum. *Reproduction in Domestic Animals*. août 2007. Vol. 42, n° 4, pp. 402-409. DOI 10.1111/j.1439-0531.2006.00799.x.

QUIGLEY, J.D., LAGO, A., CHAPMAN, C., ERICKSON, P. et POLO, J., 2013. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. février 2013. Vol. 96, n° 2, pp. 1148-1155. DOI 10.3168/jds.2012-5823.

RABOISSON, Didier, TRILLAT, Pauline et CAHUZAC, Clélia, 2016. Failure of Passive Immune Transfer in Calves: A Meta-Analysis on the Consequences and Assessment of the Economic Impact. WEARY, Dan (éd.), *PLOS ONE*. 17 mars 2016. Vol. 11, n° 3, pp. e0150452. DOI 10.1371/journal.pone.0150452.

ROCK, M.J, KINCAID, R.L et CARSTENS, G.E, 2001. Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Research*. mai 2001. Vol. 40, n° 2, pp.129-138. DOI 10.1016/S0921-4488(01)00167-5.

SAC CONSULTING : VETERINARY SERVICES (éd.), 2013. Manganese deficiency associated with bone deformities in calves. , *Veterinary Record*. avril 2013. Vol. 172, n° 15, pp. 389-392. DOI 10.1136/vr.f2024.

SPEARS, Jerry W., 2000. Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society*. novembre 2000. Vol. 59, n° 4, pp. 587-594. DOI 10.1017/S0029665100000835.

SUTTLE, Neville F., 2022. 1. The Requirement for Minerals. In : *Mineral Nutrition of Livestock, 5th Edition* [en ligne]. CABI. pp. 1-15. ISBN 978-1-78924-092-4. Disponible à l'adresse : https://books.google.fr/books?id=Tm13EAAAQBAJ&pg=PA1&hl=fr&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false

TELUGU, Bhanu Prakash et GREEN, Jonathan A., 2007. Comparative Placentation. In : *Comparative Reproductive Biology* [en ligne]. John Wiley & Sons, Ltd. pp.271-319. [Consulté le 22 juillet 2022]. ISBN 978-0-470-39029-0. Disponible à l'adresse : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470390290.ch12>

TYLER, Jeff W., HANCOCK, Dale D., PARISH, Steven M., REA, Douglas E., BESSER, Thomas E., SANDERS, Sean G. et WILSON, Leilani K., 1996. Evaluation of 3 Assays for Failure of Passive Transfer in Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. septembre 1996. Vol. 10, n° 5, pp. 304-307. DOI 10.1111/j.1939-1676.1996.tb02067.x.

UCLA : STATISTICAL CONSULTING GROUP., 2021a. Mixed Effects Logistic Regression | R Data Analysis Examples. *UCLA : Statistical Methods and Data Analytics* [en ligne]. 2021. [Consulté le 22 août 2022]. Disponible à l'adresse : <https://stats.oarc.ucla.edu/r/dae/mixed-effects-logistic-regression/>

UCLA : STATISTICAL CONSULTING GROUP., 2021b. Logit Regression | R Data Analysis Examples. *UCLA : Statistical Methods and Data Analytics* [en ligne]. 2021. [Consulté le 22 août 2022]. Disponible à l'adresse : <https://stats.oarc.ucla.edu/r/dae/logit-regression/>

VANDEPUTTE, S., DETILLEUX, J. et ROLLIN, F., 2014. Investigation of colostrum quality in beef cattle by radial immunodiffusion and brix refractometry. *Veterinary Record*. octobre 2014. Vol. 175, n° 14, pp. 353-353. DOI 10.1136/vr.101590.

VLASOVA, Anastasia N. et SAIF, Linda J., 2021. Bovine Immunology: Implications for Dairy Cattle. *Frontiers in Immunology*. 29 juin 2021. Vol. 12, pp. 643206. DOI 10.3389/fimmu.2021.643206.

WALDNER, Cheryl L et ROSENGREN, Leigh B, 2009. Factors associated with serum immunoglobulin levels in beef calves from Alberta and Saskatchewan and association between passive transfer and health outcomes. . mars 2009. Vol. 50, pp. 7.

WEAVER, Dusty M., TYLER, Jeff W., VANMETRE, David C., HOSTETLER, Douglas E. et BARRINGTON, George M., 2000. Passive Transfer of Colostral Immunoglobulins in Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. novembre 2000. Vol. 14, n° 6, pp. 569-577. DOI 10.1111/j.1939-1676.2000.tb02278.x.

ETUDE RETROSPECTIVE DE L'IMPORTANCE DE L'APPORT EN OLIGOELEMENTS SUR UNE POPULATION DE VACHES ALLAITANTES DU CANTAL POUR LE TRANSFERT D'IMMUNITE PASSIVE CHEZ LES VEAUX

AUTEUR : Marion CARRIERE

RÉSUMÉ : La placentation, de type syndesmochorial, chez les bovins empêche les échanges d'immunoglobulines lors de la gestation. Le transfert d'immunité passive de la mère au veau, se fait via le colostrum lors des premières heures de vie. Les oligoéléments participent au bon fonctionnement du système immunitaire (synthèse des immunoglobulines, phagocytose). Leur passage au veau pendant la gestation ou via le colostrum est donc majeur. L'étude, menée rétrospectivement sur 15 élevages de vaches allaitantes dans le Cantal, fait ressortir que le % Brix sérique des veaux après tétée du colostrum (50% des veaux sont sains au-dessus de 9,1%) et la supplémentation de la mère en oligoéléments (protectrice pour le sélénium et le zinc) ont un rôle dans l'apparition d'événements sanitaires préjudiciables chez les veaux (diarrhées, pneumopathies, omphalites et autres). La bonne maîtrise du transfert a un intérêt économique pour l'éleveur (meilleur GMQ, moins de traitements sur les veaux).

MOTS CLÉS : TRANSFERT D'IMMUNITE PASSIVE, VEAUX, OLIGOELEMENTS, COLOSTRUM, BRIX, IMMUNOGLOBULINES, VACHES ALLAITANTES

RETROSPECTIVE STUDY OF THE IMPORTANCE OF THE INTAKE OF TRACE ELEMENTS FOR TRANSFER OF PASSIVE IMMUNITY IN CALVES IN CATTLE FROM CANTAL

AUTHOR: Marion CARRIERE

SUMMARY: Bovine placentation is of syndesmochorial type. It prevents immunoglobulins of the cow from going to the calf during the gestation. Passive immunity transfer should happen in the first hours of life. The trace elements play a major role in the immune system – immunoglobulins synthesis, phagocytosis. Their absorption during gestation or through colostrum is important. The study, that concerns 15 beef-farms in Cantal, shows that %Brix in serum after the colostrum suckling – above 9,1% Brix in serum, 50% of calves are healthy – and the mother's supplementation in trace elements – selenium and zinc improve the health of the calves – plays a role in the outbreak of health issues as diarrhoea, pneumopathy, omphalitis and others. A successful passive immunity transfer has an economic impact for the breeder – better ADG, less treatment.

KEYWORDS:

FAILURE OF PASSIVE IMMUNITY TRANSFERT, CALVES, TRACE ELEMENTS, COLOSTRUM, BRIX, IMMUNOGLOBULINS, BEEF CATTLE

