

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire



Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences vétérinaires

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

en

Médecine vétérinaire

THEME

**Evaluation du transfert de l'immunité passive
chez le veau par dosage sérique des protéines
totales dans une exploitation de la wilaya de
Tipaza**

Présenté par :

Melle AYAD Lina

Melle BENNICHE Thinhinane

Soutenu publiquement, le Samedi 10 Septembre 2022 devant le jury :

Présidente	Mme DJELLOUT Baya	MAA (ENSV)
Examinatrice	Mme BAAZIZI Ratiba	MCA (ENSV)
Promoteur	Mr ABDELAZIZ Abdelhafid	MAA (ENSV)

2021-2022

Déclaration sur l'honneur

Nous, soussignons AYAD Lina et BENNICHE Thinhinane, déclarons être pleinement conscientes que le plagiat de documents ou d'une partie de document publiés sous toute forme de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteurs ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, nous nous engageons à citer toutes les sources que nous avons utilisées pour écrire ce mémoire de Master.

REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie **ALLAH**, tout puissant pour m'avoir donné la volonté, le Courage et la patience pour mener à terme ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur **ABDELAZIZ Abdelhafid** pour avoir accepté de diriger ce travail de recherche, pour ses conseils et échanges riches et précieux et ainsi pour sa rigueur scientifique.

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer mon travail : **Madame DJELLOUT Baya et Madame BAAZIZI.**

Je tiens à remercier également **Monsieur SOUAMES** pour son aide.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous les médecins vétérinaires de la ferme qui ont contribué dans la réalisation de ce projet

Ma gratitude va plus particulièrement à mes **chers parents** pour leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser mes études et par conséquent ce mémoire.

Je tiens à remercier mes grandes sœurs **Ines et Nora** qui m'ont toujours aidé, encouragé ainsi que mes petites sœurs **Lysa, Maya et Aya.**

Lina

REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie **ALLAH**, tout puissant pour m'avoir donné la volonté, le Courage et la patience pour mener à terme ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur **ABDELAZIZ Abdelhafid** pour avoir accepté de diriger ce travail de recherche, pour ses conseils et échanges riches et précieux et ainsi pour sa rigueur scientifique.

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer mon travail : **Madame DJELLOUT Baya et Madame BAAZIZI.**

Je tiens à remercier également **Monsieur SOUAMES** pour son aide.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous les médecins vétérinaires de la ferme qui ont contribué dans la réalisation de ce projet.

Je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à l'ensemble des personnes qui m'ont soutenues et accompagnées tout au long du processus d'élaboration de ce travail.

Tout d'abord, je remercie vivement mes parents, qui ont toujours cru en moi et qui m'ont soutenue tout au long de mes études. Je suis fière d'avoir grandi dans un foyer rempli d'amour, merci d'avoir fait de tous mes rêves une réalité, merci du fond du cœur.

A mes grands sœurs **Lycia et Wissem**, qui ont toujours été là pour moi et pour leur encouragement, ainsi mes frères **Nourddine et Wassim.**

A mes amies **Ouiam, Hania, Sara, Ferial**, pour votre soutien et tous ces bons moments passés ensemble que je n'oublierai pas.

Thinhinane

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A ma maman et mon papa qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes très chères amies : **Sabrina et Malika** qui étaient toujours là pour moi et qui n'ont jamais cessées de me soutenir.

C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre à mes amis du groupe 1 qui ont fait de cette dernière année de mon cursus le plus beau souvenir, je suis ravie de rencontrer chaque'un d'entre vous **Rania, Assia, Yasmine, Nadjet, Abdelouahab, Amir, Fethellah, zaki et Rayane.**

Sans oublier mon binôme pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Une énorme dédicace à **Dr Abdelaziz**

Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Lina

DEDICACES

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents pour leurs amours, leurs patiences, leurs encouragements et leurs aides

A mes grandes sœurs et mes petits frères que j'aime trop

A ma famille, mes oncles et tantes, mes cousines et cousins et mes grands-parents.

A Lina chère amie avant d'être binôme.

A mes chères amis **Ouiam, Sara, Hania, Ferial, Syrine, Lyna, Zineb, Dounia, Rayan, Imad, Tatif**, je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection, En souvenir des moments heureux passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de sante et de bonheur.

THINHINANE

LISTE DES ABREVIATIONS

Ac : Anticorps

AEA : Apparent Efficiency of Absorption

Ag : Antigène

ATC : Automatic Temperature Compensation

BBB : Blanc bleu belge

CD : Classe de différenciation

CID : immunodéficience combinée

CO₂ : Dioxyde de carbone

CuSO₄ : Sulfate de cuivre

DTIP : Défaut ou déficit du transfert d'immunité passive

EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique

ELISA: Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay

GGT: Gamma-glutamyl-transferase

IDR : Immunodiffusion Radiale

Ig : Immunoglobulines

IgA : Immunoglobulines de type A

IgG : Immunoglobulines de type G

IgM : Immunoglobulines de type M

KDA: Kilodalton

LB: lymphocyte B

LT: lymphocyte T

Na₂SO₃: Sulfite de sodium

Na₂SO₃: sulfite de sodium (Na₂SO₃)

Nm : nanomètre

pH : potential Hydrogene

PO₂ : pression partielle d'oxygène

PT : Protéines totales

PTS : Protéines Totales Sériques

R² : coefficient de détermination linéaire de Pearson

Rbrix : Réfractomètre de Brix

SR : solution réactionnelle

SS : Solution standard

TIC : Transfert de l'Immunité Colostrale

TIP : Transfert d'immunité passive

UFC : Unité formatrice de colonie

UI : unité internationale

VNN : Veau nouveau née

ZnSO₄ : sulfate de zinc ZnSO₄

γ-GT: γ-glutyl transférase

½: Demi

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le développement du système immunitaire du veau : de la conception à la puberté	3
Figure 2 : développement progressif du système immunitaire chez le veau fœtal.....	5
Figure 3 : Représentation schématique des différents types d'organisation histologiques du placenta	6
Figure 4: Modifications de l'efficacité apparente de l'absorption des IgG (AEA).....	14
Figure 5 : Concentration sérique des IgG chez le veau en relation avec leur concentration dans le colostrum consommé	17
Figure 6 : Evolution de l'immunité colostrale et de l'immunité active chez le veau après la naissance	18
Figure 7 : Influence du transfert de l'immunité passif sur la mortalité des veaux avant le sevrage ..	21
Figure 8 : Courbe d'étalonnage permettant de déterminer la concentration en	25
Figure 9 : Evolution du profil électrophorétique des protéines sériques chez le veau à la naissance (A), à 3 jours (B) et à 7 jours (C)	27
Figure 10 : spectrophotomètre.....	28
Figure 11 : Relation entre la teneur en protéines totales dans le sérum et la concentration sérique en IgG à 24h de vie	30
Figure 12 : Localisation de la ferme enquêtée en région Est de Tipaza	35
Figure 13 : Répartition des veaux en fonction de leur race.....	39
Figure 14 : Les différentes conditions de vêlage.....	40
Figure 15 : Répartition des veaux en fonction de leur sexe.	40
Figure 16 : Poids des veaux à la naissance (kg).	41
Figure 17: Répartition des colostrums selon leur pourcentage Brix.	42
Figure 18 : Répartition des veaux selon le mode d'administration du colostrum.	42
Figure 19: Répartition des veaux suivant le délai entre le prélèvement sanguin et le vêlage.	43
Figure 20: Représentation schématique de la qualité du transfert d'immunité passive.	44
Figure 21: Répartition des concentrations moyennes des PTS selon la race du veau.....	45
Figure 22: Répartition des valeurs des protéines sériques totales selon le sexe du veau.	46
Figure 23: valeurs sériques moyennes des protéines totales en fonction des conditions du vêlage...	47
Figure 24: répartition des concentrations sériques des PT en fonction du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Relations entre le type de placentation et le transfert d'immunoglobulines de la mère au jeune....	6
Tableau 2 : évolution du risque de mortalité selon les PT à 48 heures post <i>natum</i>	21
Tableau 3 : Estimation de la concentration d'immunoglobulines sérique selon les résultats de la précipitation au sulfate de sodium.....	32
Tableau 4 : Répartition des concentrations sériques des protéines totales.	39

Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION.....	1
I. Le statut immunitaire du veau.....	3
I.1. Le développement du système immunitaire prénatal : <i>in utero</i>	3
I.1.1. L'immunité cellulaire	4
I.1.2. L'immunité humorale	5
I.2. Causes de la fragilité immunitaire néonatale.....	7
I.2.1. Environnement stérile de l'utérus	7
I.2.2. Relations immunologiques fœto-maternelles et déficit immunitaire néonatal.....	7
I.2.3. Quiescence du système immunitaire du nouveau-né.....	8
II. Le transfert d'immunité passive (TIP).....	9
II.1. Définition du TIP.....	9
II.2. Mécanisme d'absorption des immunoglobulines	9
II.3. Le lieu d'absorption	10
II.4. Les facteurs de variation du TIP	11
II.4.1. Facteurs liés au veau	11
II.4.1.1. La race du veau	11
II.4.1.2. Le sexe du veau.....	11
II.4.1.3. Poids à la naissance	12
II.4.1.4. Les conditions du vêlage	12
II.4.2. Facteurs environnementaux	13
II.4.3. Facteurs liés à la conduite d'élevage.....	13
II.4.3.1. Délai de la prise colostrale post-partum.....	13
II.4.3.3. Contamination bactérienne du colostrum	15
II.4.3.4. La qualité du colostrum.....	16
II.4.3.4. Présence de la mère	17
II.5. Du transfert de l'immunité passive au système immunitaire actif	18
II.6. L'importance du transfert de l'immunité passive.....	19
III.1. Définition :.....	20
III.2. Conséquences du défaut du transfert d'immunité passive (DTIP).....	20
III.2.1. A court terme	20
III.2.1.1. Morbidité et mortalité néonatales	20
III.2.1.2. Autres conséquences.....	22
III.2.2. A moyen et long terme.....	22
III.2.2.1. Croissance et âge de mise à la reproduction :	22
III.2.2.2. La production laitière.....	23

III.2.2.3. Les pertes économiques.....	23
IV. Évaluation de la qualité du transfert d'immunité passive.....	24
IV.1. Méthodes directes	24
IV.1.1. L'immunodiffusion radiale (IDR)	24
IV.1.1.1. Avantages et Inconvénients.....	25
IV.1.2. Immunoturbidimétrie.....	25
IV.1.2.2. Avantage et inconvénients.....	26
IV.1.3. Test ELISA	26
IV.1.3.1. Avantages et Inconvénients.....	26
IV.1.4. L'électrophorèse des protéines sériques	26
IV.1.4.1. Avantages et inconvénants	27
IV.2. Méthodes indirectes	28
IV.2.1. Dosage des protéines totales sériques par analyseur biochimique	28
IV.2.1.1. Avantages et inconvénants	29
IV.2.2. Dosage des protéines totales par réfractométrie.....	29
IV.2.2.1. Avantages et inconvénants	30
IV.2.3. Mesure de l'activité du gamma-glutamyl-transférase.....	30
IV.2.3.1. Avantage et inconvénants.....	31
IV.2.4. Tests de précipitation au sulfate de zinc et au sulfite de sodium.....	31
IV.2.4.1. Test de précipitation au sulfate de zinc (ZnSO ₄).....	31
IV.2.4.2. Test de précipitation au sulfite de sodium (Na ₂ SO ₃)	32
IV.2.4.3. Avantages et inconvénants	32
IV.2.5. Test de coagulation au glutaraldéhyde	33
IV.2.5.1. Avantage et inconvénants.....	33
PARTIE EXPERIMENTALE	34
I. OBJECTIF DE L'ETUDE	34
II. Matériel et méthode	35
II.1. Zone et période d'étude	35
II.2. Bovins concernés	36
II.3. Prélèvements et informations recueillies.....	36
II.3.1. Récolte de différentes données liées au veau.....	36
II.3.2. Prise de sang et obtention de sérum	36
II.3.2.1. Prélèvement	36
II.3.2.2. Centrifugation et transport des échantillons	36
II.3.3 Analyses de laboratoire.....	37
II.3.1. Principe	37
II.3.2. Réactifs :.....	37
II.3.3. Protocole expérimental	37
III. RESULTATS	39
III.1. Répartition de la concentration des PTS des échantillons	39

III.2. La race des veaux.....	39
III.3. Les conditions de vêlage	40
III.6. La qualité du colostrum distribuée	41
III.7. Mode d'administration de colostrum.....	42
III.8. Quantité de colostrum distribuée	43
III.9. Le délai entre la mise bas et la première tétée	43
III.10. Le délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin.....	43
IV. ANALYSE DES RESULTATS	44
IV.1. Qualité du transfert de l'immunité passive	44
IV.2. Etude de certains facteurs de variation du TIP	45
IV.2.1. Influence de la race du veau sur le transfert d'immunité passive.....	45
IV.2.2. Influence de sexe du veau sur le transfert d'immunité passive	45
IV.2.3. Influence des conditions de vêlage sur le transfert d'immunité passive.....	46
IV.2.4. Influence du mode d'administration du colostrum sur le transfert de l'immunité passive	47
IV.2.5. Influence de la qualité du colostrum sur le transfert de l'immunité passive	47
IV.2.7. Influence du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin sur le transfert de l'immunité passive.....	48
V. DISCUSSION.....	49
V.1. Qualité du transfert d'immunité passive.....	49
V.2. Effet de la race du veau sur le transfert de l'immunité passive	50
V.3. Effet du sexe sur le transfert de l'immunité passive	50
V.4. Effet de la qualité du colostrum sur le transfert de l'immunité passive	51
V.5. Effet du poids du veau à la naissance sur le TIP	51
V.6. Effet du mode d'administration du colostrum sur le transfert d'immunité passive.....	51
V.7. Effet des conditions de vêlage sur le transfert de l'immunité passive	52
V.8. Influence du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin sur le transfert de l'immunité passive.....	52
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	
RESUME	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Durant la gestation bovine, la placentation épithéliochoriale ne permet pas le passage d'immunoglobulines (Ig) maternelles au fœtus, donc le veau naît agammaglobulinémique avec un système immunitaire opérationnel mais immature.

Ainsi, les heures suivant la naissance sont décisives, car le veau nouveau-né est particulièrement sensible aux agressions microbiennes du milieu extérieur. Pour se défendre, il doit ingérer une quantité suffisante d'immunoglobulines par le biais de colostrum (la première sécrétion lactée qu'une vache produit après la parturition), ce passage d'effecteurs de l'immunité de la mère au veau par l'intermédiaire du colostrum est nommé le transfert d'immunité passive (TIP).

Dans le cas où le veau n'ingère pas une quantité suffisante d'immunoglobulines colostrales, le veau se retrouve en situation de défaut du transfert d'immunité passive (DTIP). Cette condition est non seulement associée à un risque plus élevé de morbidité et de mortalité mais aussi à plus long terme à une baisse de performances (indice de croissance, âge de mise à la reproduction) (**Eichinger, 2014**).

Malgré que le colostrum et le TIP soient des sujets étudiés depuis plus d'un siècle (**Garry et al., 1993**), les échecs du TIP restent toujours une problématique d'actualité avec des proportions non négligeables chez 25 à 60 % des veaux (**Maillard, 2000**). A l'échelle collective, le défaut de transfert d'immunité passive est responsable de pertes économiques massives.

Dans ce sens l'évaluation du TIP permet d'identifier les défaillances de la gestion afin de les corriger et d'améliorer ainsi la santé des veaux (**Furman-Fratczak et al. 2011**). Selon **Beam et al. (2009)**, le DTIP est plus répandu dans les exploitations qui ne surveillent pas systématiquement le TIP et sont plus susceptibles d'avoir des veaux atteints du DTIP que les exploitations qui effectuent cette surveillance.

Par conséquent, pour s'assurer que les veaux sont correctement immunisés et que la gestion du colostrum est efficace, il est nécessaire de doser directement ou indirectement les IgG chez les veaux.

À notre connaissance, il existe peu d'études qui utilisent le dosage sérique des protéines totales (PT) par l'analyseur biochimique pour évaluer la qualité du TIP.

De ce fait, ce mémoire fournit de l'information concernant le transfert d'immunité passif. Également, il vise à évaluer la qualité du transfert de l'immunité passive dans un élevage bovin laitier par le dosage sérique des PT, de voir l'importance de certains facteurs qui l'influent.

Pour répondre aux objectifs, ce mémoire comprend en premier lieu une étude bibliographique sur le TIP chez les bovins, à partir de données de la littérature. Un rappel sur le statut immunitaire de veau est présenté dans la première partie. La seconde partie définit le TIP et explique son mécanisme ainsi

que les facteurs de variation et son importance. Ensuite, la définition du DTIP et les conséquences d'un défaut de TIP sur le devenir du veau, et au final les différents outils d'évaluation du TIP sont rapportés.

En second lieu, une étude expérimentale sur ce thème est exposée. Cette étude concerne la méthode de Biuret, une méthode d'analyse applicable pour le dosage des protéines totales, et donc d'estimations de la concentration des immunoglobulines dans le sérum du veau pour évaluer la qualité du TIP. L'influence de différents facteurs sur les concentrations sériques en immunoglobulines des veaux a également été étudiée.

I. LE STATUT IMMUNITAIRE DU VEAU

Le développement du système immunitaire bovin commence avec la conception (stade embryonnaire), se poursuit progressivement *in utero* (stade fœtal) et atteint sa maturité lorsque l'animal approche de la maturité sexuelle et commence son cycle, son système immunitaire mûrit également (à environ 6 mois après la naissance).

La maturation du système immunitaire est lente chez les mammifères.

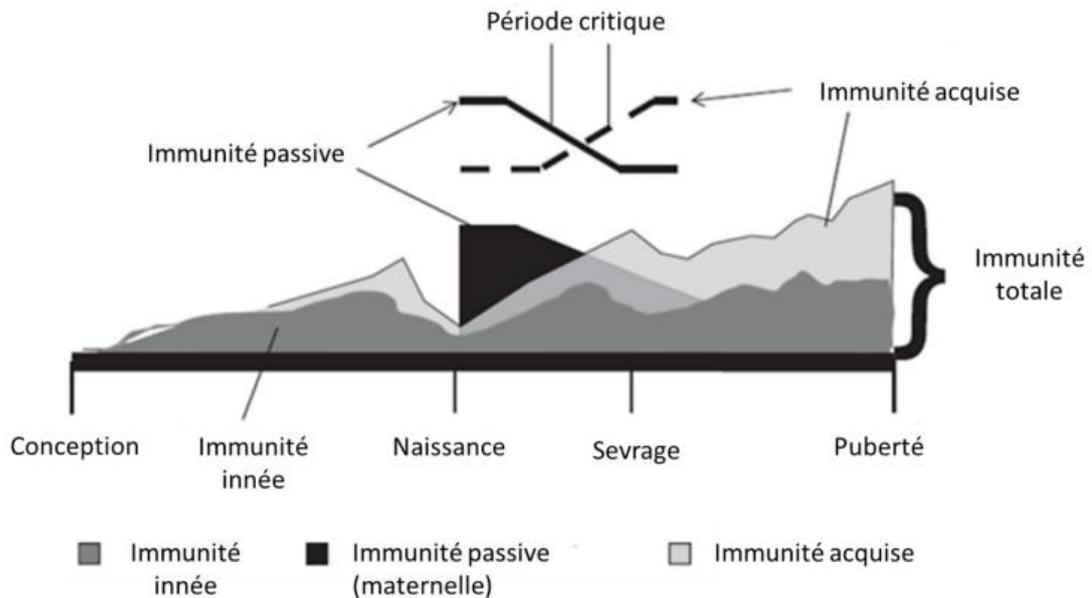


Figure 1 : Le développement du système immunitaire du veau : de la conception à la puberté (Chase et al., 2008).

I.1. Le développement du système immunitaire prénatal : *in utero*

Le système immunitaire du veau se développe très tôt dans la vie fœtale et suit un schéma cohérent, en une série d'étapes ; chaque étape permet au fœtus de répondre à un plus grand nombre d'antigènes. Sa vitesse de développement est modulée par les stimulations antigéniques *in utero*, puis *post partum*.

Les premières études examinant des fœtus bovins à différents stades de développement ont révélé que les organes lymphoïdes primaires du système immunitaire sont présents dès le début du développement. Bien que la période de gestation de la vache soit de 280 jours, le thymus du fœtus est structurellement présent dès 40 jours après la conception et atteint sa taille maximale aux environs du 140ème, c'est à dire à la moitié de la gestation. Ainsi le développement thymique et la différenciation des thymocytes en rang de cellules CD caractéristiques se déroulent durant la gestation. La moelle osseuse et la rate apparaissent à 55 jours, les ganglions lymphatiques commencent à se former vers à 60 jours, mais les plaques de Payer n'apparaissent pas avant 175 jours. La taille de tous les organes lymphoïdes fixes augmente au fur et à mesure de la gestation (Tizard, 1977).

I.1.1. L'immunité cellulaire

L'immunocompétence du fœtus se développe pendant la gestation. Les lymphocytes se développent à partir de cellules souches, ils ont été observés dès le 42^e jour de gestation dans le sang, puis se déplacent vers des endroits spécifiques pour subir une différenciation supplémentaire. Les lymphocytes T arrivent à maturité dans le thymus, tandis que les lymphocytes B subissent une maturation supplémentaire dans la moelle osseuse fœtale et les plaques de Peyer. Au cours du premier trimestre de la gestation, les lymphocytes T et B se déplacent à partir des organes lymphoïdes primaires pour peupler les ganglions lymphatiques, la rate et les tissus lymphoïdes des muqueuses. Toute cette activité se produit indépendamment de l'exposition et de la stimulation des antigènes.

Les bovins se remarquent par une concentration sanguine relativement importante en lymphocytes T de type $\gamma\delta$. Cette concentration est particulièrement élevée chez le veau nouveau-né, soit 25 à 30 % dans les leucocytes sanguins périphériques, par rapport aux vaches adultes qui en ont une concentration sanguine de 3 à 10 %. La fonction de ces cellules n'est pas établie, mais elles auraient une activité de type cellule tueuse naturelle. Ces cellules se situent sur les surfaces épithéliales, la peau, l'intestin, l'œsophage et la langue (**Goddeeris, 1998**).

Le nombre des cellules B est réduit chez le veau nouveau-né et grimpe au niveau de celui des adultes vers l'âge de six à huit semaines d'âge (**Thiry et al., 2002**).

Les granulocytes apparaissent dans le sang fœtal à partir du 130^e jour de gestation. De plus, la réaction inflammatoire diffère de celle de l'adulte. En effet, alors qu'elle concerne, de manière prédominante, les polynucléaires neutrophiles chez le bovin adulte, la réponse fœtale se fait au travers des monocytes et des macrophages (**Enright et Osborn, 1981**).

La réponse des cellules se développe jusqu'à la fin de la gestation mais reste tout de même réduite par rapport aux capacités fonctionnelles de celles des adultes.

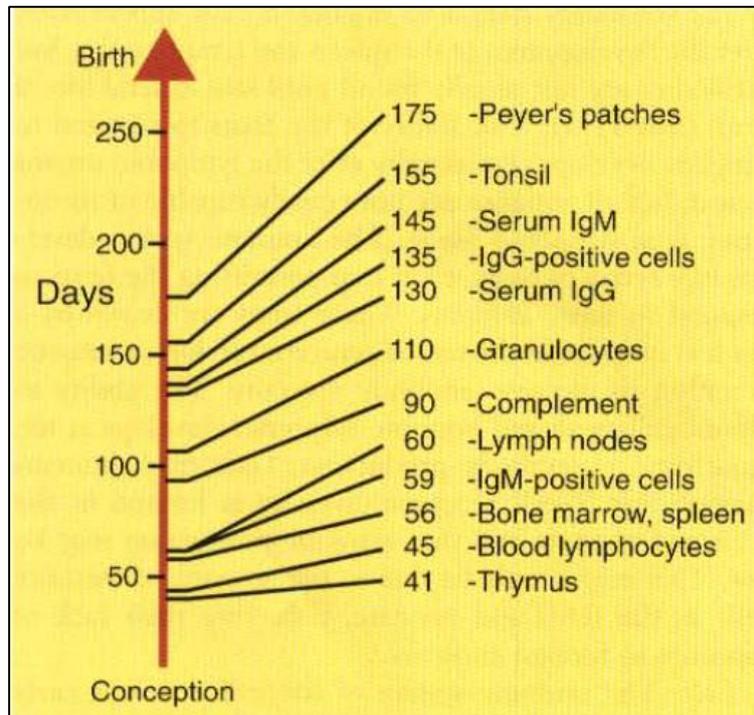


Figure 2 : développement progressif du système immunitaire chez le veau fœtal (d'après **Tizard, 1977**)

I.1.2. L'immunité humorale

Les veaux laitiers sont immunologiquement naïfs à la naissance, ils sont nés agammaglobulinémiques, ce qui signifie qu'ils sont relativement dépourvus d'anticorps circulants (**Barrington et Parish, 2001**).

Chez les bovins, la placentation est de type épithéliochoriale avec 6 couches cellulaires interposées entre la circulation maternelle et fœtale (figure 3 ; tableau 1) :

- l'endothélium capillaire maternel
- le conjonctif utérin
- l'épithélium utérin
- le trophoblaste
- le conjonctif fœtal
- l'endothélium capillaire fœtal.

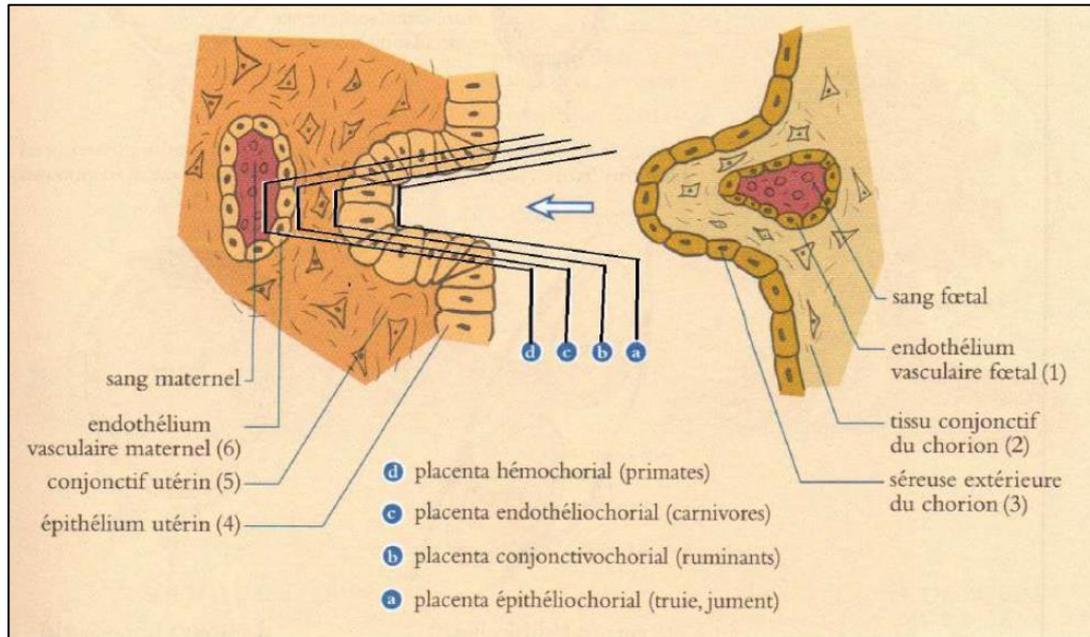


Figure 3 : Représentation schématique des différents types d'organisation histologiques du placenta (**Leborgne et al., 2013**).

Ce type de placentation est une barrière filtrante qui protège le fœtus d'une grande partie des agressions virales et bactériennes mais il en résulte des échanges placentaires sélectifs ne laissant pas passer les protéines maternelles de poids moléculaire important, en particulier les immunoglobulines.

Le sérum du veau nouveau-né est donc très pauvre en Ig circulantes (IgM = 0,126 mg/ml, IgG = 0,044 mg/ml, pour un total supérieur ou égal à 0,29mg/ml (**Oudar et al., 1976**). Le veau naît quasiment agammaglobulinémique (**Levieux, 1984**).

Cependant quelques études montrent que les veaux ne naissent pas complètement agammaglobulinémiques et qu'une production par le fœtus d'IgM (premier détecté à 4 mois de gestation) et IgG (entre 160 et 200 jours de gestation) est possible, consécutifs à une infection virale non létale qui se serait produite durant la gestation (**Barrington et Parish, 2001**).

Néanmoins, les anticorps produits sont des IgM spécifiques d'une réponse primaire, et disparaissent rapidement (**Thiry et al., 2002**).

Vers 130 jours, le système du complément apparaît dans la circulation fœtale et l'activité bactéricide du sérum apparaît vers 80 jours de gestation (**Barrington et Parish, 2001**).

Tableau 1 : Relations entre le type de placentation et le transfert d'immunoglobulines de la mère au jeune (d'après **Serieys, 1993** et **Duvaux-Ponter, 2000**).

ESPECES	PLACENTATION	NOMBRE DE BARRIERES ANATOMIQUES ENTRE CIRCULATIONS MATERNELLE ET FŒTALE	TRANSFERT TRANS-PLACENTAIRE	TRANSFERT COLOSTRAL
Porc, cheval, Bovins	Epithéliochoriale	6	0	+++
Petits ruminants	Syndesmochoriale	5	0	+++
carnivores	Endothéliochoriale	4	+	+++
Primates (homme)	Hémochoriale	3	+++	+
rongeurs	Hémendothéliale	1	+++	+

I.2. Causes de la fragilité immunitaire néonatale

À la naissance, tous les composants du système immunitaire sont présents, mais certains ne sont pas fonctionnels jusqu'à l'âge de deux-quatre semaines et, ils continuent à se développer jusqu'à la puberté.

Hormis le placenta de type epithéliochorial des bovins qui interdit le passage des immunoglobulines du sang maternel au sang fœtal, les veaux nouveau-nés sont soumis à plusieurs facteurs qui peuvent être à l'origine de la fragilité de leur système immunitaire.

I.2.1. Environnement stérile de l'utérus

Au cours d'une gestation normale, le veau est maintenu dans un environnement étanche aux antigènes (Ag) et son système immunitaire reste quiescent car non stimulé, inexpérimenté.

En effet, les veaux néonataux n'ont pas eu l'occasion de renforcer leur immunité adaptative par "expérience" (Mangin, 2002).

I.2.2. Relations immunologiques fœto-maternelles et déficit immunitaire néonatal

Outre sa non-stimulation, le système immunitaire fœtal subit l'influence, probablement dominante, d'un certain nombre de molécules d'activité immunosuppressive telles l'alpha-foeto-protéine chez l'homme, la souris, les ovins ou le porc et la fœtuine chez les bovins (Milon, 1986). Le placenta est également la source de facteurs immunosuppresseurs encore mal connus. Parallèlement, ces facteurs pourraient être en cause dans le maintien d'un état d'hyperréactivité immunologique de l'organisme nouveau-né. La mise-bas elle-même est un événement potentiellement immunosuppresseur. Son

induction par l'axe hypothalamo-hypophysaire fœtal, se traduit par une décharge importante de corticostéroïdes par les surrénales fœtales.

On sait que, globalement, les corticostéroïdes provoquent une baisse des défenses immunitaires et que leur effet pourrait participer au déficit immunitaire néonatal (**Milon, 1986**).

I.2.3. Quiescence du système immunitaire du nouveau-né

Le système immunitaire est un système inductible : c'est le stimulus antigénique qui provoque la sélection et la prolifération des cellules, qui lui sont spécifiques et l'apparition des effecteurs de défense : anticorps (Ac), LT effecteurs, Or au cours d'une gestation normale, le veau est maintenu dans un environnement étanche aux antigènes (Ag) et son système immunitaire reste quiescent car non stimulé, inexpérimenté. Des conditions conventionnelles normales d'élevage, le nouveau-né acquiert dès la première déglutition une flore saprophyte en 12-24 heures. Cette flore est capable de s'opposer à une colonisation ultérieure, c'est un premier effet de barrière, au rôle immunologique indirect mais essentiel. Cette flore stimule ensuite le système immunitaire du VNN comme en témoigne l'apparition progressive dans son sérum de taux croissants d'Ig (**Milon, 1986**).

II. Le transfert d'immunité passive (TIP)

II.1. Définition du TIP

Suite à son développement dans un milieu quasi stérile et à des échanges foëto-maternels à travers un placenta épithéliochorial, donc limités, le veau naît avec un système immunitaire complet mais son sérum contient très peu d'immunoglobulines. Ses moyens de défense sont très faibles face aux multiples agressions dans un milieu aux conditions difficiles (contamination microbienne massive, basses températures). L'imperméabilité du placenta aux grosses molécules empêche un transfert efficace d'immunité passive maternelle lors de la gestation. Ce transfert doit donc être réalisé le plus tôt possible après la naissance.

Le transfert d'immunité passive consiste en l'acquisition d'une immunité par le colostrum. Elle est définie comme étant le transfert d'immunoglobulines produites par la mère et présentes dans sa circulation sanguine vers sa progéniture (**Brambell, 1958**).

Le veau acquière ainsi une immunité transitoire qui lui laisse le temps de mettre en marche ses propres mécanismes de défenses immunitaires.

Les immunoglobulines maternelles procurent au veau une immunité systémique par passage dans la circulation sanguine et une immunité locale au niveau intestinal.

II.2. Mécanisme d'absorption des immunoglobulines

Durant les premières heures suivant la naissance des veaux, leur petit intestin a la capacité d'absorber de larges molécules (150, 000 à 1, 000, 000 KDA) comme les Ig et d'autres protéines (**Brandon et al., 1971**).

Contrairement à la forte sélectivité du transport des Ig dans les sécrétions mammaires, l'absorption intestinale n'est pas spécifique (**Brandon et al., 1971**). Ainsi, la concentration sérique des différentes classes et sous-classes d'Ig est semblable aux proportions retrouvées dans le colostrum précédemment ingéré par les nouveau-nés (**Bush et al., 1971**). Cette absorption non sélective est possible grâce à plusieurs facteurs qui empêchent la digestion des Ig du premier repas de colostrum.

Chez le nouveau-né, l'activité protéolytique intestinale est réduite à la naissance car la sécrétion des enzymes pancréatiques est faible et le pH intestinal (compris entre 5,5 et 6,5) ne permet pas une activité optimale de ceux-ci (**Guilloteau et Zabielski, 2005**).

De plus, l'acidité de la caillette permet la coagulation du colostrum dans la caillette. Or, celle-ci favorise l'absorption intestinale des IgG (**Roy, 1980; Cruywagen, 1990**).

La faible activité protéolytique au niveau de la caillette et de l'intestin grêle favorise l'absorption intacte des macromolécules, des cellules et des IgG. Cet effet est de courte durée car, après 12 heures de vie, la production des enzymes digestifs atteint déjà des niveaux plus élevés qui réduisent la possibilité d'absorption d'Ig intactes (**Guilloteau et al., 1983, 1984, 1998**).

Le pouvoir tampon intrinsèque du colostrum et la présence d'inhibiteurs de protéases, comme un inhibiteur de la trypsine, assurent aussi le maintien de l'intégrité des immunoglobulines.

Par ailleurs, les IgA et les IgG du colostrum de vache possèdent peu de liaisons peptidiques sensibles à l'action de la pepsine, de la trypsine et de la chymotrypsine. Enfin, des glucides formeraient une enveloppe protectrice autour des immunoglobulines (**Milon, 1986; Sérieys, 1993**).

II.3. Le lieu d'absorption

L'assimilation d'Ig s'effectue principalement dans le jéjunum et dans une moindre mesure dans l'iléon (**Bush et al., 1971**). La morphologie et l'ultrastructure des entérocytes du jéjunum et de l'iléon chez les veaux nouveau-nés ont été décrites (**Staley et al., 1972**): les microvillosités sont plus développées à la surface des cellules jéjunales qu'à la surface des cellules iléales.

Les Ig sont absorbées dans des vésicules par un mécanisme de pinocytose puis transportées à travers les entérocytes vers la membrane basale de l'épithélium (**Jochims et al., 1994**); elles sont relarguées dans la circulation lymphatique par exocytose et gagnent la circulation veineuse via le canal thoracique (**El Nageh, 1967; El-Nageh, 1967**).

L'épithélium intestinal du veau nouveau-né ne conserve la capacité de pinocytose des macromolécules que pendant une courte durée. On utilise le terme anglais de "closure" pour nommer le moment où la muqueuse intestinale devient imperméable aux anticorps. On peut traduire ce mécanisme par « fermeture » de la muqueuse digestive (**Moog, 1979**). L'arrêt de l'absorption s'explique par le remplacement des cellules épithéliales de la muqueuse intestinale par d'autres cellules épithéliales incapables de réaliser la pinocytose des Ig, mais aussi par la mise en place du système enzymatique de digestion (**Quigley 2007, James 2009**).

La durée de la période d'absorption fait l'objet d'un débat entre les autorités, mais en règle générale, l'absorption d'immunoglobulines chute à un niveau relativement bas après environ 24-36 heures (**Porter, 1969; Bourne et Curtis, 1973; Murata et Namioka, 1977**).

En général, la perméabilité est maximale immédiatement après la naissance et décline rapidement par la suite (**Kruse, 1983**).

Une grandeur a été définie dans les publications pour évaluer le taux d'absorption des immunoglobulines. Il s'agit de l'efficacité apparente d'absorption, notée AEA, qui correspond au pourcentage d'immunoglobulines qui atteignent la circulation sanguine du veau par rapport à la quantité d'immunoglobulines ingérées (**Besser 1985, Quigley 2007, Singh et al., 2011**). L'AEA a été définie initialement pour les IgG mais elle peut se décliner aux autres isotypes.

L'efficacité apparente de l'absorption (AEA) des immunoglobulines peut être mesurée à l'aide d'une équation mathématique basée sur les niveaux de concentration d'IgG sériques et colostrales, ainsi que sur le poids corporel du veau et le volume de colostrum donné (**J. D. Quigley et al., 1998**).

Le taux d'absorption (AEA) est globalement faible chez le veau. En moyenne, l'AEA varie de 20 à 35%, et de nombreux facteurs de variation que nous discuterons plus loin influent sur cette grandeur (**Besser 1985, Quigley 2007, Singh et al., 2011**). La détermination de l'AEA nécessite de doser les IgG dans le colostrum et le sang du veau entre 24 et 48 heures *post partum* et de connaître exactement le volume de colostrum ingéré.

II.4. Les facteurs de variation du TIP

La quantité idéale d'immunoglobulines consommées par kg de poids vif serait de 3 à 6 g/kg afin d'atteindre des concentrations sériques en IgG de 10 à 15 g/L (**Bush et al., 1971**). De manière simple, certains auteurs suggèrent une ingestion minimale de 200 grammes d'immunoglobulines afin d'atteindre ces objectifs (**Sérieys, 1993; Levieux et Ollier, 1999**).

II.4.1. Facteurs liés au veau

II.4.1.1. La race du veau

La race du veau influence les capacités d'absorption du veau nouveau-né. Selon **Maillard (2013)** les veaux de race allaitante ont des capacités d'absorption supérieures à celles des veaux laitiers. Au sein des races laitières, on observe aussi des différences dans les capacités d'absorption. Plusieurs études rapportent un AEA plus élevé pour les veaux de race Jersey que pour les veaux Holstein (**J. D. Quigley et al., 2002; Villarroel et al., 2013**).

Mowrey (2001) a rapporté que l'AEA calculé des veaux jersiais nourris au colostrum était 24 % plus élevés que l'AEA des veaux Holstein.

II.4.1.2. Le sexe du veau

L'influence du sexe du veau sur le transfert de l'immunité passive est sujette à controverse. De nombreuses études montrent qu'il n'y a pas d'influence de ce facteur sur le TIP (**Perino et al., 1995; Trotz-Williams et al., 2008**).

Odde quant à lui, trouve des taux sériques d'IgG1 significativement plus élevés chez les veaux femelles que chez les veaux mâles et aucune différence significative pour les taux sériques d'IgM chez les deux sexes. Il imagine cependant que ce résultat a pu être influencé par une facilité de vêlage moindre chez les veaux mâles, plus gros, ayant souffert lors du vêlage et tardant à se lever et à têter (**Odde, 1988**).

Selon **Filteau et collaborateurs (2003)**, cet effet pourrait être lié au poids plus important des veaux mâles à la naissance qui reçoivent donc moins de colostrum proportionnellement à leur poids et qui présentent un risque accru de dystocie (**Filteau et al., 2003**).

II.4.1.3. Poids à la naissance

Il ne semble que le poids n'influence pas directement le transfert d'immunité passive (**Stott et al., 1979; Robison et al., 1988; Chigerwe, Tyler, Nagy et al., 2008**), il semble cependant intervenir sur le comportement alimentaire du VNN. Les veaux de poids moyen à la naissance présentent une meilleure vitalité et boivent donc plus facilement et rapidement leur colostrum que les veaux trop gros ou trop maigres (**Selman et al., 1971; Muggli et al., 1984**).

II.4.1.4. Les conditions du vêlage

La dystocie et la gémellité ont été décrites comme des facteurs de risque de défaut de transfert d'immunité passive, en élevage laitier et allaitant (**Waldner et Rosengren, 2009**).

La dystocie, en effet, peut être à l'origine d'une hypoxie cérébrale puis d'une hypoxémie et d'une acidose respiratoire (**Kersting, 1998**). Le nouveau-né, alors affaibli, tarde à se lever, à téter et consomme moins de colostrum qu'un autre veau, d'où le défaut de transfert d'immunité.

Ces nouveau nés sont par ailleurs plus susceptibles d'avoir un œdème de la langue ce qui rend également la tétée difficile, augmentant le risque de ne pas consommer un volume suffisant de colostrum (**B. P. Smith, 2009**).

Cependant, **Stott et Reinhard (1978)** ont montré l'absence de corrélation entre la dystocie et la concentration sérique en Ig chez les VNN, lorsque ces derniers sont nourris avec un litre de colostrum 4 et 12 heures après leur naissance. De même, dans une autre étude de **Perino et al., (1995)** et après ajustement de certains facteurs tels le sexe des VNN et l'âge des mères, la dystocie ne modifie pas le transfert passif d'Ig.

Cela suggère qu'une surveillance du vêlage et qu'une intervention précoce dans les 24 heures post-*partum* peuvent compenser l'influence négative de la dystocie sur le transfert d'immunité colostrale.

Le moment (à terme ou prématurité) du vêlage peut influencer l'absorption des Ig. Les veaux prématurés présentent une capacité d'absorption des IgG réduite par rapport aux veaux nés à terme (**Johnston et Stewart, 1986**) qui pourrait être liée à une cortisolémie plus faible juste avant le vêlage (**Sangild, 2003**). Or, il a été montré qu'une concentration élevée en corticostéroïdes sériques chez le veau juste avant la naissance permet la maturation de l'intestin et favorise le transport des macromolécules au travers de l'épithélium intestinal (**Sangild, 2003**).

Cette cortisolémie plus faible s'accompagne d'autres perturbations métaboliques (glycémie,

PO₂ et pH plus bas) qui résultent toutes d'une immaturité de structure et de fonction de certains organes comme les poumons ou les glandes surrénales (**Sangild et al., 1997**).

Les veaux nés par césarienne élective présentent aussi une réduction de l'absorption des Ig qui ferait probablement suite à une absence de préparation de la vache et du veau au vêlage (**Frerking et Aeikens, 1978; Sangild, 2003**). Ce phénomène n'est cependant pas observé chez les veaux de race BBB qui présentent des concentrations sériques en IgG adéquates (**Uystepuyst et al., 2002; Hoflack et al., 2004**).

II.4.2. Facteurs environnementaux

L'absorption des Ig peut être affectée par l'environnement dans lequel le veau est né.

Les effets de la température ambiante en dehors de la plage thermoneutre pour les veaux peuvent impliquer des effets directs sur l'absorption et le transport intestinaux (**Olson, Bull, et al., 1981a**).

Par exemple, alors que le froid modéré n'influence pas l'absorption des IgG (**Olson, Bull, et al., 1981a**), un froid extrême en diminue l'absorption (**Olson et al., 1980b**) et limite la prise naturelle du colostrum. Dans ces conditions climatiques, les veaux présentent de la faiblesse musculaire et rechignent de se lever pour aller téter (**Olson et al., 1980a**).

Un stress thermique associé à des températures extrêmement chaudes et une forte humidité réduisent aussi l'absorption du colostrum (**Stott et al., 1976; Donovan et al., 1986**).

Cette réduction de l'absorption intestinale des IgG pourrait résulter d'une augmentation des corticoïdes sériques suite à un état de stress (**Stott et al., 1976**).

II.4.3. Facteurs liés à la conduite d'élevage

II.4.3.1. Délai de la prise colostrale post-partum

Le facteur le plus important qui influe sur l'AEA est le moment où le colostrum est distribué après la naissance.

Il est généralement admis que le colostrum doit être distribué au plus vite après la naissance et, dans tous les cas, sa distribution doit être complètement terminée dans les 24 premières heures qui suivent la naissance.

La maturation des cellules épithéliales intestinales, l'implantation de bactéries intestinales et l'augmentation de la production d'enzymes intestinales réduisent l'AEA (**J. D. Quigley et al., 2002**). Selon les théories actuelles (**Bush et Staley, 1980; Jochims et al., 1994; Staley et Bush, 1985**) suggèrent que les cellules épithéliales intestinales perdent leur capacité à absorber des macromolécules intactes après environ 24 heures, en raison de la maturation des cellules et du développement de l'appareil digestif intracellulaire. Cette maturation commence peu après la naissance. **Rajala et Castrén (1995)** ont signalé une baisse de la concentration sérique d'IgG de 2

g/L 30 minutes après la naissance ; régression de la concentration sérique d'IgG en fonction de l'âge au moment de la première alimentation chez des veaux nourris au colostrum maternel (**Francisco et Quigley, 1993**). A également indiqué une réduction de l'AEA dans l'heure qui suit la naissance.

Outre la maturation des cellules intestinales, la sécrétion d'enzymes digestives peut également contribuer à réduire l'AEA, en dégradant les IgG avant leur absorption. A la naissance et pendant une période limitée par la suite, la sécrétion des d'enzymes digestives reste limitée pour permettre aux macromolécules telles que l'IgG d'échapper à la digestion et permettre l'absorption (**Guilloteau et al., 1983; Thivend et al., 1980**).

Vers 12 h, la sécrétion d'enzymes devient plus marquée, réduisant ainsi la capacité des IgG à atteindre la circulation périphérique sans être dégradées. La supplémentation du colostrum avec un inhibiteur de trypsine de soja augmente l'absorption des IgG (**Quigley et al., 1995**), ce qui indique les effets délétères des enzymes protéolytiques sur l'AEA.

L'invasion de l'intestin par les microorganismes peut également être impliquée dans la réduction de l'AEA avec le temps après la naissance. Le tractus intestinal du nouveau-né est stérile à la naissance. Cependant, en quelques heures, les bactéries environnementales commencent à coloniser l'intestin. Cette colonisation peut être accélérée par un environnement qui favorise la croissance des agents pathogènes (c'est-à-dire un environnement sale). **James et al. (1981)** ont rapporté que la présence de bactéries dans l'intestin peut en réalité augmenter le taux de fermeture de l'intestin, réduisant ainsi l'AEA et l'acquisition de l'immunité passive.

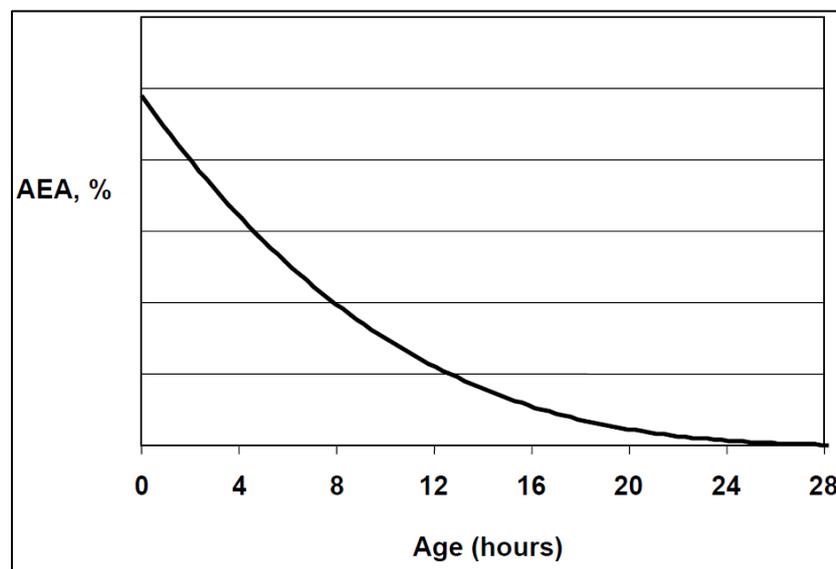


Figure 4: Modifications de l'efficacité apparente de l'absorption des IgG (AEA) avec l'augmentation de l'âge chez les veaux nouveau-nés (**Quigley et al., 2002**).

II.4.3.2. Les méthodes de distribution du colostrum

En pratique, l'administration du colostrum se réalise soit par tétée naturelle ou soit manuellement au moyen d'un biberon, d'un seau ou d'une sonde œsophagienne.

Les veaux viandeux laissés avec leur mère à la naissance et qui arrivent à téter rapidement, présentent une concentration sérique significativement plus élevée en IgG par rapport aux veaux recevant du colostrum au biberon (**Selman et al., 1970; Stott et al., 1979**).

Inversement, les veaux de races laitières laissés avec leur mère après la naissance sont plus à risque de présenter un échec du transfert d'immunité passive par rapport aux veaux nourris à la bouteille ou avec une sonde œsophagienne (**Brignole et Stott, 1980; Besser et al., 1991; Filteau et al., 2003; Trotz-Williams et al., 2008; McAloon et al., 2016**). Dans leur étude, Beam et collaborateurs (2009) estiment que ce risque est 2 à 4 fois plus important chez les veaux laitiers laissés avec leur mère par rapport aux veaux nourris manuellement (**Beam et al., 2009**).

Par rapport aux veaux nourris à la bouteille, l'utilisation d'une sonde œsophagienne est associée à une diminution de l'absorption ainsi qu'à une plus faible concentration sérique en IgG (**McCoy et al., 1994**). En effet, le colostrum administré à la sonde se retrouve en partie dans le rumen et met entre 2 à 4 heures pour arriver dans l'intestin qui, durant ce laps de temps, poursuit sa maturation avec une diminution de sa capacité d'absorption (**Lateur-Rowet et Breukink, 1983**).

Néanmoins, cet effet serait minime voire nul car l'utilisation d'une sonde œsophagienne permet de fournir une grande quantité d'Ig au veau (**Molla, 1978 ; Adams et al., 1985 ; Besser et al., 1991 ; Kaske et al., 2005**). Selon Besser et collaborateurs (1991), l'administration du colostrum via une sonde œsophagienne ou une bouteille à tétine permet d'assurer un TIC adéquat au veau (**Besser et al., 1991**).

II.4.3.3. Contamination bactérienne du colostrum

Le colostrum, lorsqu'il est distribué au veau, contient des bactéries en plus ou moins grandes quantités, dépendant essentiellement des conditions de traite et de conservation avant la distribution.

Une concentration élevée en bactéries dans le colostrum interfère de manière importante avec l'absorption des immunoglobulines (**Johnson et al., 2007; S. M. Godden et al., 2009; Elizondo-Salazar et Heinrichs, 2009; S. M. Godden et al., 2012; Gelsinger et al., 2014; Kryzer et al., 2015**), en plus d'être potentiellement pathogène.

Selon **James (2009)**, la détérioration de l'absorption intestinale des immunoglobulines lorsque le colostrum est fortement contaminé par des bactéries s'explique par trois phénomènes :

- L'agression des entérocytes par les bactéries entraîne une exfoliation importante qui augmente le remplacement des entérocytes fœtaux par d'autres entérocytes incapables de pinocytose.

- L'attachement des bactéries à la muqueuse digestive provoque une occupation des sites de pinocytose, installant ainsi une compétition entre les bactéries et les anticorps pour la liaison aux sites d'attachement au niveau du pôle apical des cellules épithéliales.

- La fixation des immunoglobulines sur les paratopes bactériens permet la formation de complexes qui empêchent les bactéries d'exercer leur pouvoir pathogène. Ce mécanisme correspond à « l'immunité lactogénique » (**Johnson et al., 2007**) et explique le bénéfice à distribuer du colostrum de première traite après la closure. Cependant, la création de ces complexes diminue la disponibilité des immunoglobulines pour la pinocytose.

Des seuils de contamination bactérienne ont été définis. On considère qu'un colostrum est de bonne qualité sur le plan bactériologique lorsqu'il contient moins de 100 000 ufc/ml de germes totaux et moins de 10 000 ufc/ml de coliformes (**Morrill et al., 2012; Kryzer et al., 2015**).

La contamination bactérienne du colostrum est donc l'un des facteurs qui explique la closure de la barrière intestinale, et la précipite d'autant plus que la contamination bactérienne est forte. Le traitement thermique du colostrum est un moyen de diminuer la quantité de bactéries dans le colostrum, lorsqu'il est effectué dans de bonnes conditions (**McGuirk et Collins, 2004**).

II.4.3.4. La qualité du colostrum

La qualité du colostrum est un élément majeur du transfert d'immunité passive.

Elle régit la quantité d'Ig ingérée par le veau en fonction du volume distribué. Or, il a été observé qu'à quantité d'Ig ingérée égale, la concentration sérique en IgG n'était pas la même en fonction du volume de colostrum distribué et donc de sa qualité. En effet, la quantité d'Ig absorbée est plus élevée lorsque le veau se voit distribuer un faible volume de colostrum de très bonne qualité que lorsqu'il ingère un volume plus important de colostrum de moins bonne qualité à quantité d'Ig égale (**Jaster, 2005; Quigley et al., 2007; Maillard et Guin, 2013**).

Selon **Besser et collaborateurs (1985)** et **Stott et Fellah (1983)**, le transfert d'IgG est meilleur avec 1 litre de colostrum contenant 100 g d'IgG qu'avec 2 litres contenant 50 g/L d'IgG. C'est donc la masse d'Ig transférée par litre de colostrum qui conditionne l'absorption.

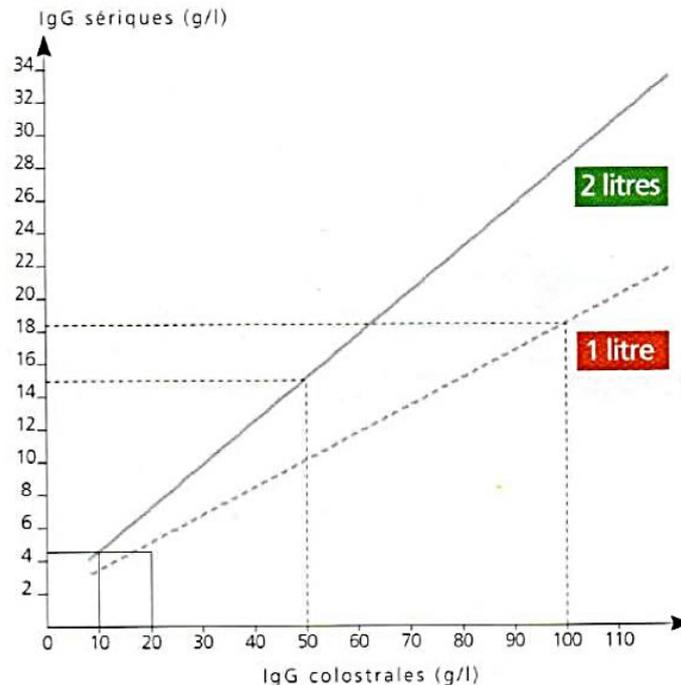


Figure 5 : Concentration sérique des IgG chez le veau en relation avec leur concentration dans le colostrum consommé d'après **Serieys F (1994)**.

Néanmoins, la corrélation entre la quantité d'IgG ingérée et l'AEA devient négative lorsqu'une quantité trop importante d'Ig est distribuée au veau, ce qui plaide pour une saturation de la capacité de transport de l'épithélium intestinal (**Besser et al., 1985**).

Ce mécanisme de saturation a récemment été remis en question dans l'étude de **Halleran et collaborateurs (2017)** dans laquelle aucune relation significative entre l'AEA et la quantité totale d'IgG distribuée au veau n'est observée.

De manière générale, les apports en IgG recommandés pour assurer un transfert d'immunité passive suffisant sont de 100 à 200g (**Besser et al., 1991; Hopkins et Quigley, 1997; McGuirk et Collins, 2004**). Ils sont conditionnés à la fois par le volume et la concentration du colostrum ingéré.

II.4.3.4. Présence de la mère

La présence de la mère augmente l'efficacité de l'absorption des Ig chez le veau nouveau-né (**Weaver et al., 2000; S. Godden, 2008; Maillard et Guin, 2013**). Cependant, les effets délétères de la colonisation bactérienne massive liée à l'environnement de la mère et du faible volume ingéré tardivement lorsqu'on laisse le veau téter sont plus importants que le bénéfice sur l'AEA lorsqu'on laisse le veau avec sa mère (**S. Godden, 2008**).

II.5. Du transfert de l'immunité passive au système immunitaire actif

La protection conférée par les Ig colostrales est de durée limitée, suite à leur catabolisme dans l'organisme et disparaissant en fonction de leur $\frac{1}{2}$ vie. D'après **Husband et al. (1972)** :

- Les IgM persistent moins longtemps dans le sérum que les IgG1 et IgG2 ($\frac{1}{2}$ vie de 4 jours contre 16 à 32 jours), de plus, les IgM non absorbées protégeront directement la muqueuse digestive (pouvoir neutralisant des bactéries et des virus).
- Les IgA présentes dans le sérum du veau ont une $\frac{1}{2}$ vie très courte, inférieure à 2 jours.

La synthèse endogène d'Ig débute dès la première semaine de vie avec une production journalière d'environ 0,84 g d'IgG1 (**Devery et al., 1979**). A l'intersection de ces deux phases de synthèse d'Ig par le veau et de disparition des Ig colostrales il y'a l'apparition d'un trou immunitaire vers le premier mois de vie (figure 3). c'est-à-dire que la concentration en immunoglobulines sériques, d'origine colostrale ou endogène, est inférieure au seuil efficace de transfert d'immunité passive (**Omacap et al., 2015**); donc une susceptibilité accrue aux maladies (**Loiseau, 2018**).

Ce trou immunitaire persiste durant environ 3 à 4 semaines. Il sera d'autant plus prononcé et précoce que la concentration sérique en Ig colostrales sera faible suite à un apport inadéquat de colostrum (au niveau quantitatif, qualitatif ou déficit d'absorption) (**Vandeputte, 2019**).

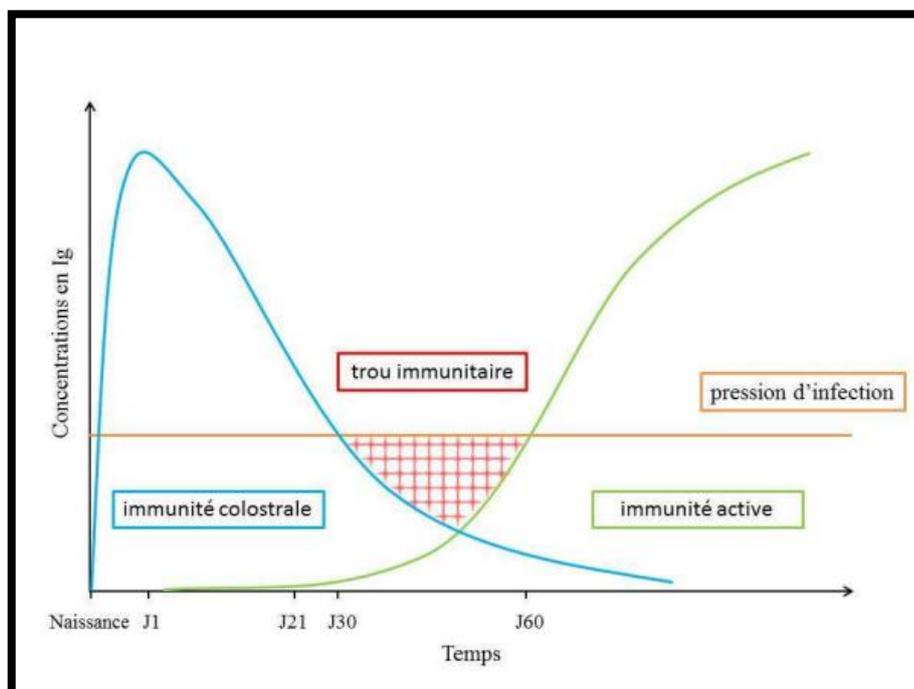


Figure 6 : Evolution de l'immunité colostrale et de l'immunité active chez le veau après la naissance (adapté de **Chase et collaborateurs (2008)**).

II.6. L'importance du transfert de l'immunité passive

L'état de santé des veaux est étroitement relié au transfert de l'immunité passive, particulièrement pendant la période précédant le sevrage. Cette affirmation semble intuitive pour les vétérinaires, mais les éleveurs ne font majoritairement pas le lien entre des troubles sanitaires comme les gastro-entérites néonatales et le défaut de transfert d'immunité passive (**Allix 2014**).

La majorité des études montrent une relation significative entre la santé des veaux et le transfert d'immunité passive, qu'il soit mesuré par dosage des IgG ou estimé à l'aide de la concentration sérique en protéines totales (**Nahms 1993, Paré 1993, Tyler 1998, Tyler 1999, Weaver 2000, Dewell 2006, Waldner 2009, Stillwell 2011**).

L'étude de **Poppie et McGuire** menée sur des veaux atteints de maladie d'immunodéficience combinée (appelés veaux 'CID'). Ces derniers naissent sans immunoglobulines et sans possibilité d'en synthétiser. Cependant, un transfert d'immunité passive efficace leur confère un taux d'immunoglobulines supérieur à celui des veaux non 'CID' avec un défaut de TIP. En revanche, cette même étude montre que pour un veau 'CID', ce transfert de l'immunité passive ne suffit pas à protéger le veau plus de 60 jours. A ce stade, le système immunitaire des veaux non CID a pris le relais (**Poppie et al. 1976**).

le TIP est indispensable pour avoir un taux suffisant en immunoglobulines et pour protéger le veau tant que son système immunitaire n'est pas pleinement actif (**Cornille, 2015**).

Dans une autre étude de **Wittum et Perino (1995)**, les veaux ont été sélectionnés et une mesure sérique a été effectuée à 24 heures d'âge environ. Une partie d'entre eux souffrait d'un transfert insuffisant de l'immunité passive (taux de protéines totales sériques inférieur à 4.8 g/dl). Ces veaux ont ensuite été suivis jusqu'au sevrage et en post sevrage en observant leur état de santé. Ils ont noté les problèmes de diarrhée, les problèmes respiratoires, les symptômes d'entérotoxémie, les infections ombilicales, les problèmes de septicémie, de pododermatite et de kératoconjonctivite (**Wittum et Perino, 1995**).

Le risque de décès avant le sevrage est cinq fois plus élevé chez les veaux qui ont subi un mauvais transfert insuffisant de l'immunité passive que chez les veaux protégés (taux de protéines totales sériques supérieur à 4.8 g/dl). Le risque d'apparition de maladie (septicémie, problèmes respiratoires) durant la période néonatale est six fois plus élevé chez les veaux qui ont eu un mauvais transfert d'immunité.

Dans la période de pré-sevrage complète, le risque est trois fois plus élevé. Le plus faible taux de croissance est également observé chez les veaux ayant subi un transfert insuffisant de l'immunité

passive. Il existe donc une relation entre le TIP et les performances des veaux en pré-sevrage, post-sevrage et croissance.

En résumé, le TIP est une condition importante pour la survie et la santé des veaux en jeune âge (**Donovan et al. 1998 ; Tyler et al. 1998**).

III. Défaut ou déficit de transfert l'immunité passif (DTIP)

III.1. Définition :

On parle d'un défaut ou déficit de transfert lorsque la quantité finale d'immunoglobulines colostrales présentes dans le sérum du veau nouveau-né est trop basse avant une synthèse endogène suffisante de ses propres anticorps. Les scientifiques ont donc tenté de fixer des seuils de concentrations sériques en immunoglobulines en dessous desquels on parle de défaut ou de déficit de transfert, à un instant donné. Ainsi, un défaut de transfert est suspecté si à 48 heures de vie, les concentrations sériques en IgG sont inférieures à 10 ou 15g/L. Pour les IgM et les IgA, les limites sont respectivement de 0.8g/L et 0.22g/L. A l'échelle de l'élevage on considère qu'il y a un défaut de transfert d'immunité passive si plus de 10% des veaux ont un DTIP (**Chigerwe, Tyler, Middleton, et al., 2008**). La prévalence de défaut de transfert d'immunité passive a été décrite dans plusieurs pays à travers le monde (**Quaile, 2015**).

Cette notion reste quantitative et ne prend pas en compte la qualité des immunoglobulines, à savoir leur spécificité concernant les germes pathogènes majeurs présents dans le lot ou l'élevage concerné (**Allemand, 2008**).

III.2. Conséquences du défaut du transfert d'immunité passive (DTIP)

III.2.1. A court terme

III.2.1.1. Morbidité et mortalité néonatales

Chez les bovins, les 3 premières semaines de vie sont la période où le risque de mourir est le plus élevé. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette forte mortalité en jeune âge, par exemple la difficulté du vêlage ou la naissance de jumeaux qui sont hors de contrôle des producteurs (**Wells et al., 1996**). Certains paramètres peuvent être contrôlés par les producteurs, dont le TIP fait partie. Les veaux privés de colostrum sont 50 à 75 fois plus susceptibles de mourir avant 3 semaines d'âge, surtout durant la première semaine de vie (**Smith et Little 1922 ; Crowley et al., 1994; Wells et al., 1996**).

Tout d'abord, il a été rapporté qu'une concentration sérique faible en Ig est associée à un plus haut taux de mortalité. En effet, **Robison et collaborateurs** rapportent que le taux de mortalité des génisses laitières âgées de moins de 6 mois était de 6,78 % chez celles dont la concentration sérique

en immunoglobulines avait été inférieure à 12 g/L à 24h de vie alors qu'il n'était que de 3,33 % chez celles dont la concentration avait dépassé les 12 g/L (**Robison et al., 1988**).

De la même façon, il a été établi, au cours d'une autre étude portant sur 3479 génisses laitières, que le risque de mortalité durant les 16 premières semaines de vie était jusqu'à 4,6 fois plus élevé chez les animaux avec un défaut de transfert de l'immunité colostrale (**Tyler et al. 1998**).

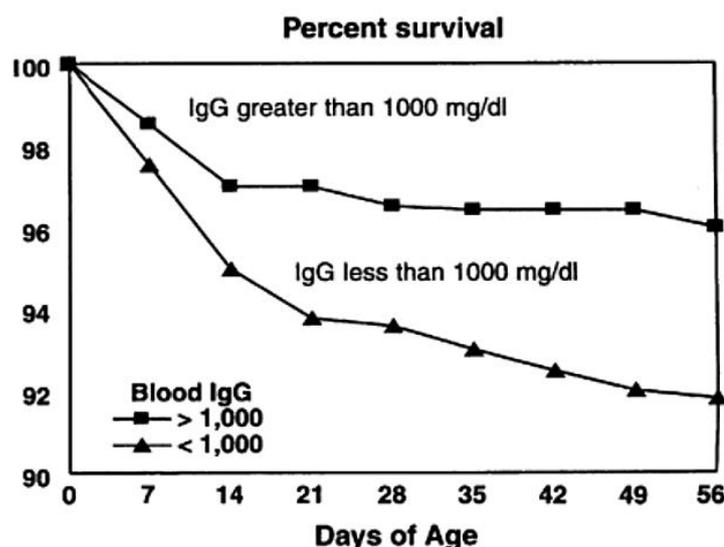


Figure 7 : Influence du transfert de l'immunité passif sur la mortalité des veaux avant le sevrage (**S. Godden, 2008**).

Donovan et al., (1998) ont trouvé une relation entre les protéines sériques des veaux et la morbidité, la sensibilité aux septicémies, aux pneumonies et aux diarrhées. Le risque de mortalité dans les 6 premiers mois de vie est multiplié par 3 à 6 en comparant des veaux dont la concentration en protéines totales sériques est inférieure à 50 g/L ou supérieure à 60 g/L (**Donovan et al., 1998**).

Tableau 2 : évolution du risque de mortalité selon les PT à 48 heures post *natum* (**Donovan et al., 1998**).

PT à 48h post <i>natum</i>	Risque de mortalité
< 50g/L	Elevé
Entre 50 et 54 g/L	Intermédiaire
>54 g/L	Faible

Cependant, plusieurs auteurs ont montré qu'une concentration sérique « adéquate » en IgG n'était pas un outil suffisant pour prédire l'état de santé du jeune veau. A titre d'exemple, dans l'étude de **Lomba**

et al. (1978), les concentrations en IgG₁ ne sont pas en rapport avec l'incidence des diarrhées néonatales (**Lomba et al., 1978**).

L'analyse des facteurs de risque de mortalité néo ou périnatale, ne peut en effet se résumer à la seule mesure du taux d'Ig chez les veaux mais doit également prendre en compte d'autres paramètres tels que la pression d'infection dans l'élevage, les pratiques de désinfection de l'ombilic, les conditions de logement (densité des animaux) ou encore la vaccination des mères (**Jacques, 2012**).

III.2.1.2. Autres conséquences

Le colostrum possède des effets sur le développement de la fonction intestinale. La circonférence, la superficie, la hauteur des villosités ainsi que le ratio hauteur/profondeur des cryptes dans le duodénum sont plus importants chez les veaux ayant absorbé du colostrum par rapport à ceux n'en ayant pas reçu (**Bühler et al. 1998 ; Blättler et al. 2001**). Les capacités d'absorption sont également meilleures chez les veaux nourris à partir de colostrum par rapport à ceux nourris à partir d'aliments d'allaitement pour veaux (**Hammon et Blum 1997 ; Kühne et al. 2000**).

III.2.2. A moyen et long terme

Les conséquences d'un défaut de transfert de l'immunité passive peuvent s'étendre au-delà de la période néonatale. Une altération des performances zootechniques des animaux atteints peut parfois être observée (**Jacques, 2012**).

III.2.2.1. Croissance et âge de mise à la reproduction :

Plusieurs études en élevages laitiers et allaitants ont établi l'association positive entre le transfert d'immunité passive et le gain moyen quotidien dans les 3 à 7 premiers mois de vie (**Robison et al. 1988; Dewell et al. 2006; Windeyer et al. 2014**).

En revanche, la morbidité durant les 28 premiers jours de vie est associée à une perte de poids de 16 kg au sevrage qui n'est jamais compensée par la suite (**Wittum et Perino, 1995**). En effet, la croissance compensatrice des jeunes bovins ne permet pas de rattraper entièrement les retards de croissance ayant lieu lors des 2 premiers mois de vie, voire des 6 premiers mois (**Morin, 2019**).

L'âge de mise à la reproduction est fonction du poids de la génisse. Ainsi un meilleur transfert d'immunité passive favorisant une meilleure croissance va permettre une mise à la reproduction plus précoce (**Furman-Fratczak et al. 2011**).

Le statut immunitaire à 24h mesuré par le taux sérique d'IgG est donc indirectement associé à la vitesse de croissance du veau pendant les 6 premiers mois de sa vie (**Allemand, 2008**).

III.2.2.2. La production laitière

Les génisses laitières ayant eu un niveau de transfert passif de l'immunité insuffisant, produisent en moyenne moins de lait au cours de la première lactation. Il n'y a certainement pas de lien direct, mais on peut s'attendre à ce qu'une génisse qui se développe bien, sans retard de croissance, puisse pleinement exprimer son potentiel génétique laitier au vêlage (**Allemand, 2008**).

En outre, le taux de réforme est plus élevé chez ces animaux que chez les génisses ayant eu un niveau de transfert passif satisfaisant (**DeNise et al., 1989**). En résumé, il en ressort donc qu'il est important qu'une génisse absorbe une quantité maximale de colostrum afin d'optimiser sa santé et sa productivité (croissance et production future) (**Morin, 2019**).

III.2.2.3. Les pertes économiques

L'échec du transfert d'immunité est associé à des pertes économiques importantes (**Raboisson et al., 2016**), qui sont liées :

- A la diminution de la croissance.
- Au risque accru de mortalité (dont la perte d'animaux et la perte de potentiel génétique pour l'amélioration du troupeau).
- A la morbidité (dont l'augmentation de la fréquence et gravité des maladies respiratoires, diarrhées néonatales et des frais thérapeutiques plus importants).
- A la baisse de la production laitière.

IV. Évaluation de la qualité du transfert d'immunité passive

L'évaluation de la qualité du TIP chez le veau s'effectue en mesurant les immunoglobulines G sériques 24 heures après la prise du premier repas de colostrum jusqu'à 7 jours de vie (**S. Godden, 2008**), au-delà d'une semaine, il se produit un phénomène de consommation des immunoglobulines qui peut entraîner l'apparition de résultats faussement positifs. De même, cette évaluation doit se faire sur des veaux sains et non déshydratés au risque d'obtenir des résultats faussés suite à des phénomènes de consommation des Ig ou d'hémoconcentration (**Hancock 1985; Burton et al. 1989; Waldner et Rosengren 2009 ; Patel et al., 2014; Radostits et al., 2017**). Le transfert de cellules maternelles vers le sang du veau n'est en pratique jamais exploré à cause de la complexité des analyses nécessaires (**Gauthray, 2019**).

On définit traditionnellement un TIP adéquat lorsque ≥ 10 g/L d'IgG est mesuré dans le sérum des veaux (**Besser et al. 1991; Furman-Fratczak et al., 2011**). La valeur de 10 g/L est un seuil en dessous duquel les veaux présentent un risque accru de pathologies digestives ou respiratoires (**Gay 1984; Besser et al. 1991**). Le TIP sera considéré comme « mauvais » pour des concentrations sériques en IgG inférieures à 10 g/L, « moyen à bon » entre 10 et 15 g/L, et « excellent » si la concentration en IgG1 est supérieure à 15 g/L (**Morin, 2019**).

La notion du seuil de qualité du transfert d'immunité passive ne prend pas en compte la qualité des immunoglobulines, c'est-à-dire leur spécificité aux antigènes majeurs présents dans l'environnement du nouveau-né.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour évaluer la qualité du transfert de l'immunité passive chez les ruminants (**Weaver et al., 2000**). Le TIP se mesure de deux façons : directement par la mesure des IgG sériques ou indirectement entre autres par la mesure des protéines totales (PT) ou la concentration en γ -glutyl transférase (γ -GT) ainsi que d'autres tests (**Cornille 2015; Morin 2019**).

IV.1. Méthodes directes

IV.1.1. L'immunodiffusion radiale (IDR)

L'IDR est une technique permettant de doser précisément les IgG dans le sérum de veau nouveau née. Cette technique est considérée comme la méthode de référence, dans le dosage immunoglobulines sériques, de la même façon que pour le colostrum (**Godden 2008; Morrill 2013; Deelen 2014; Elsohaby 2015; Hogan 2015; Thornhill 2015**). Le principe de l'IDR est basé sur une réaction de précipitation entre les antigènes (Ag), représentés par les Ig à doser, et les anticorps (Ac) polyclonaux spécifiques (**Vandeputte, 2019**). En bref, 3 μ L d'échantillon de sérum et de contrôle sont déposés dans des puits séparés d'une plaque de gel d'agarose vendue avec un antisérum spécifique d'IgG bovin. Le site échantillons de sérum et les antigènes de contrôle diffusent dans le gel et un

anneau de précipitation se forme après 18-24 h avec un diamètre proportionnel à la concentration d'IgG. Ainsi, la concentration d'IgG pour un diamètre particulier peut être obtenue après avoir tracé une courbe standard (Ameri et Wilkerson, 2008; Stenger et al., 2016 ; Souza et al. 2021).

IV.1.1.1. Avantages et Inconvénients

Cette méthode présente l'avantage d'être quantitative, fiable et facile. Cependant, elle est considérée comme coûteuse car elle nécessite une main d'œuvre spécialisée pour sa réalisation et utilise des réactifs et des anticorps à durée de vie limitée (Elsohaby et al., 2015), de plus elle est relativement laborieuse pour l'analyse d'un grand nombre d'échantillons (Lee et al., 2008); ainsi la migration est longue puisqu'elle nécessite 18 à 24 heures avant la lecture des résultats. L'IDR est donc une technique de laboratoire qui n'est pas utilisable sur le terrain, directement en élevage (Stenger et al., 2016; Souza et al. 2021).

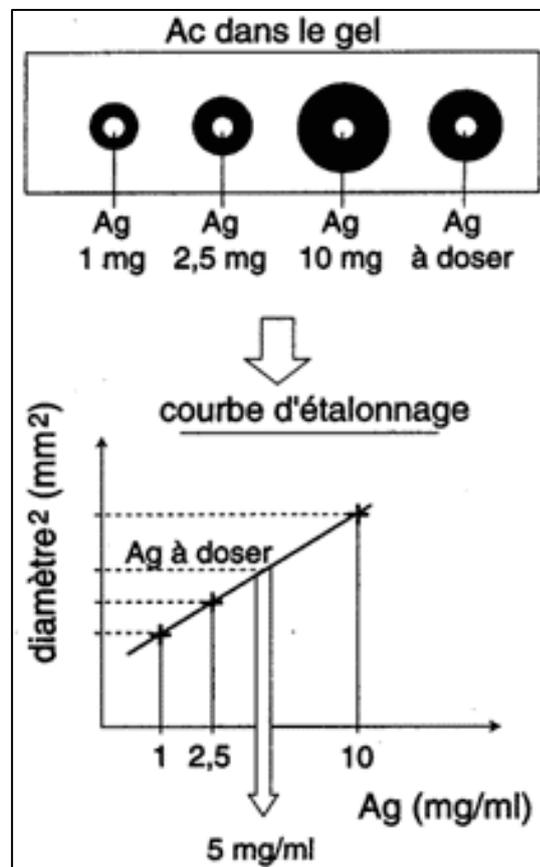


Figure 8 : Courbe d'étalonnage permettant de déterminer la concentration en immunoglobulines d'un colostrum par la méthode de l'IDR (Stenger, 2016).

IV.1.2. Immunoturbidimétrie

L'immunoturbidimétrie est une méthode de dosage quantitative des IgG. Elle repose sur une précipitation spécifique de complexe antigène-anticorps dans un milieu liquide. Elle prend environ 10 minutes pour déterminer la concentration d'IgG en lisant l'absorbance à 340 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Alley et al., 2012).

Cette technique est reconnue comme méthode de référence (**McVicker et al., 2002**), étant donné qu'elle est très précise et fortement corrélée à l'IDR ($R^2 = 0,98$). Jusqu'à récemment, cette technique n'était réalisable qu'en laboratoire. Cependant, un analyseur portatif (MBC QTII ®; Midland BioProducts Corp) a été développé pour fournir des résultats en moins de 15 minutes à la ferme (**Alley et al., 2012**).

IV.1.2.2. Avantage et inconvénients

La simplicité et la rapidité de la réalisation de cette méthode favorisent leur utilisation dans les exploitations agricoles. Toutefois, elle est trop dispendieuse pour un contrôle régulier du TIP (**Alley et al., 2012**). Son intérêt s'inscrirait dans les exploitations ayant un fort taux de diarrhées néo-natales et dans l'évaluation de l'efficacité des programmes de gestion du colostrum.

IV.1.3. Test ELISA

La méthode ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) permet le dosage quantitatif des IgG sériques par une réaction antigène-anticorps. Le type d'ELISA le plus utilisé est la méthode dite « ELISA sandwich ». Elle consiste à la fixation des IgG avec un anticorps anti-immunoglobulines bovines sur une surface solide, l'ensemble est ensuite incubé une heure à 37° C puis rincés. À ces complexes nouvellement formés sont rajoutés des anticorps marqués par une enzyme et dirigés contre les immunoglobulines à tester puis rinçages, Ensuite l'ajout d'un substrat chromogène (colorant) de l'enzyme crée une réaction de coloration mesurable par spectrophotométrie (**Jacques 2012; Morin 2019**).

IV.1.3.1. Avantages et Inconvénients

Cette technique est très sensible et relativement facile et rapide à utiliser, cependant elle nécessite du matériel de laboratoire, de l'expertise et est coûteuse (**Hogan et al., 2015**), son utilisation n'est pas fortement recommandée en raison du délai d'obtention des résultats.

IV.1.4. L'électrophorèse des protéines sériques

L'électrophorèse est une méthode de séparation de protéines, basée sur leurs propriétés physiques comme la taille et la charge nette (**Gapper et al., 2007**). La migration des protéines se fait sur un gel (agarose, polyacrylamide) soumis à un champ électrique continu. Plus leur poids moléculaire est faible et leur charge négative importante, plus les protéines migrent rapidement vers le pôle positif. Par la suite, il est possible de quantifier les protéines dans un électrophorétochrome et de déterminer ainsi la concentration de chaque protéine, et plus précisément de chaque fraction protéique dans l'échantillon de sérum ou de plasma analysé (**Franc c.Hay et Olwyn M. R. Westwood., 2002**).

L'albumine est une petite molécule chargée négativement, ce qui en fait l'une des protéines les plus mobiles dans les électrophorèses. Les immunoglobulines, en particulier les gammaglobulines, sont

les moins chargées négativement et migrent lentement. En fonction de leur vitesse de migration respective, les protéines sériques se séparent en 4 grands groupes : les albumines, les α -globulines, les β -globulines et les γ -globulines, ce dernier groupe comprenant l'ensemble des Ig (**Larson et al., 1980 ; Kaneko et al., 2008**). La quantification des IgG se fait par la mise en évidence du pic de γ -globulines.

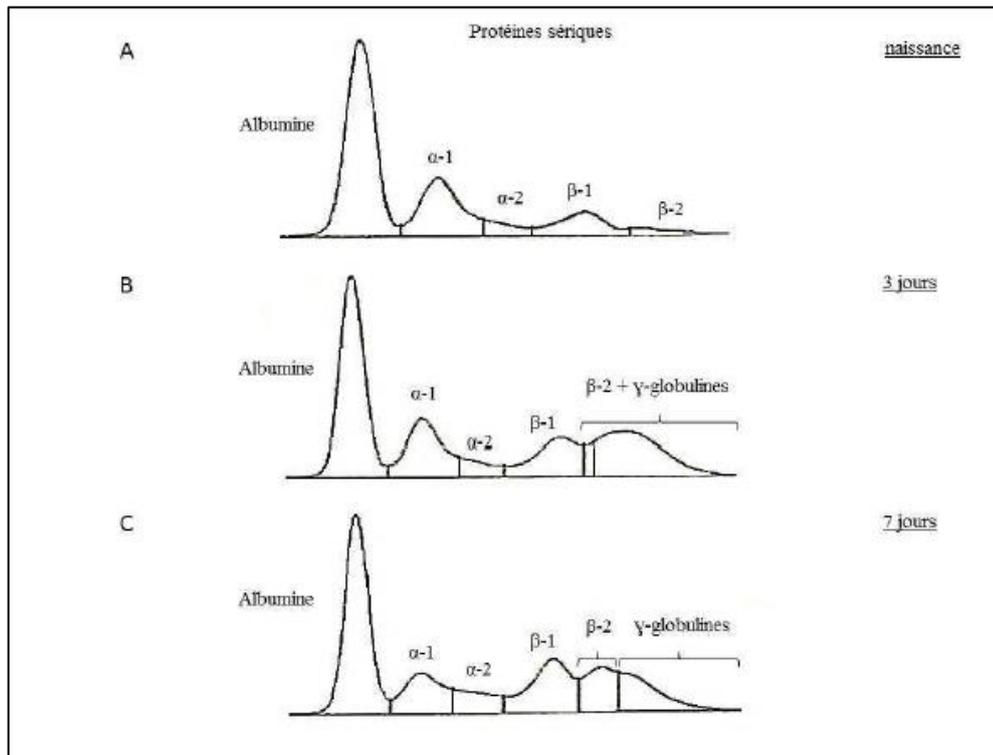


Figure 9 : Evolution du profil électrophorétique des protéines sériques chez le veau à la naissance (A), à 3 jours (B) et à 7 jours (C) (adapté d'après **Godeau et al. (1996)**).

IV.1.4.1. Avantages et inconvénients

Au laboratoire, la méthode de choix reste l'électrophorèse des protéines plasmatiques, à partir d'un prélèvement sur tube EDTA. Elle a l'avantage de permettre le dosage des différentes fractions d'Ig (**Amalric, 2011**). Cependant, cette méthode est semi-quantitative et cela est dû au fait que le pic de γ -globulines n'est pas uniquement composé d'IgG (**Kaneko et al., 2008**). Sur le terrain, son utilisation est limitée par un coût relativement élevé ainsi que par les délais de réalisation technique et de réception des résultats (**Jacques 2012; Vandeputte 2019**).

IV.2. Méthodes indirectes

IV.2.1. Dosage des protéines totales sériques par analyseur biochimique

Pour déterminer la concentration totale des protéines dans un mélange complexe par spectrophotométrie d'absorption (figure 10), des méthodes colorimétriques sont souvent employées, la plus classique est la méthode de Biuret, qui consiste à la formation d'un complexe entre : le biuret ($\text{NH}_2\text{-CO-NH-CO-NH}_2$) et deux liens peptidiques consécutifs en présence de cuivre CuSO_4 dans un milieu alcalin. On obtient une coloration violette dont l'intensité mesurée à 550 nm est proportionnelle à la quantité de protéines dans le milieu (Yaya et al. 2018; Zinsou-Clako et al. 2020).



Figure 10 : spectrophotomètre

En général, le PTS peut être divisé en deux fractions principales : l'albumine et les globulines. Étant donné que l'albumine a une certaine stabilité et que les veaux nouveau-nés ne présentent pas beaucoup de carences qui pourraient entraîner des variations dans d'autres protéines, il existe une forte corrélation entre la PTS et les immunoglobulines absorbé via le colostrum de ces animaux pendant les premiers jours de leur vie. Cette corrélation permet à l'analyse PTS d'évaluer indirectement les IgG et, par conséquent, l'TIP (Tyler et al. 1996 ,Quigley 2001; Wilm et al. 2018).

l'Age du veau est un facteurs très important pour évaluer l' TIP (Nocek et al. 1984). Wilm et al. (2018) ont montré que les veaux âgés de 9 jours pouvaient être testé en toute sécurité pour l'TIP à condition ; tous les individus évalués sont restés en bonne santé tout au long de l'étude et qu'aucun n'a présenté de DTIP. Passé ce délai, le veau est en mesure des synthétiser ses propres Ig faussant ainsi l'analyse. Ainsi, pour obtenir des informations plus fiables concernant l'TIP, l'idéal était de collecter des échantillons de sérum pendant 24 à 48 heures, si possible (Souza et al. 2021).

Dans une autre étude, Denholm et al. 2021 ont évalué 101 échantillons provenant de veaux âgés de 1 à 7 jours et ont démontré qu'une concentration des protéines totales sériques de 5,6 g/dL par la

méthode du biuret était équivalente à une concentration d'IgG de 1,0 g/dL par la méthode IDR. Ainsi, ils ont prouvé que l'évaluation du TIP par la méthode du biuret était plus précise que la méthode de réfractométrie lorsqu'elle est comparée à l'IDR (précision = 83,1 % contre 69,3 %, respectivement) **(Souza et al. 2021)**.

IV.2.1.1. Avantages et inconvénients

L'une des méthodes les plus fiables, elle est relativement rapide et est utilisée pour doser les concentrations entre 10 et 150 g/L. Cependant, elle est peu sensible (2 à 20 g/L) et s'applique difficilement à des solutions de protéines diluées, non utilisée pour le dosage des glycoprotéines. De plus elle présente une sensibilité à certains interférents ; le saccharose, le glycérol et les sels d'ammonium sulfate **(Zinsou-Clako et al. 2020)**.

A notre connaissance, il existe peu d'études qui ont été réalisées par l'analyseur biochimique comme une méthode d'évaluation de TIP chez le veau.

IV.2.2. Dosage des protéines totales par réfractométrie

Le réfractomètre optique et numérique mesure la concentration en PT d'une solution à partir de l'indice de réfraction d'un faisceau lumineux traversant l'échantillon **(Wallace et al., 2006)**. Ainsi, les PT mesurées par réfractométrie peuvent être utilisées pour estimer le transfert passif d'immunoglobulines, car celles-ci sont corrélées à la concentration sérique en IgG mesurée par IDR ($R=0,93$) **(Deelen et al., 2014)**.

Chez le veau âgé de 1 à 7 jours, les principaux constituants des protéines totales sont les immunoglobulines. Le coefficient de corrélation entre les concentrations sériques en protéines totales et en IgG est d'environ 0,71 chez le veau âgé de 24 h (figure 11). Cette corrélation n'est toutefois pas absolue **(J. D. Quigley et al., 2001)**.

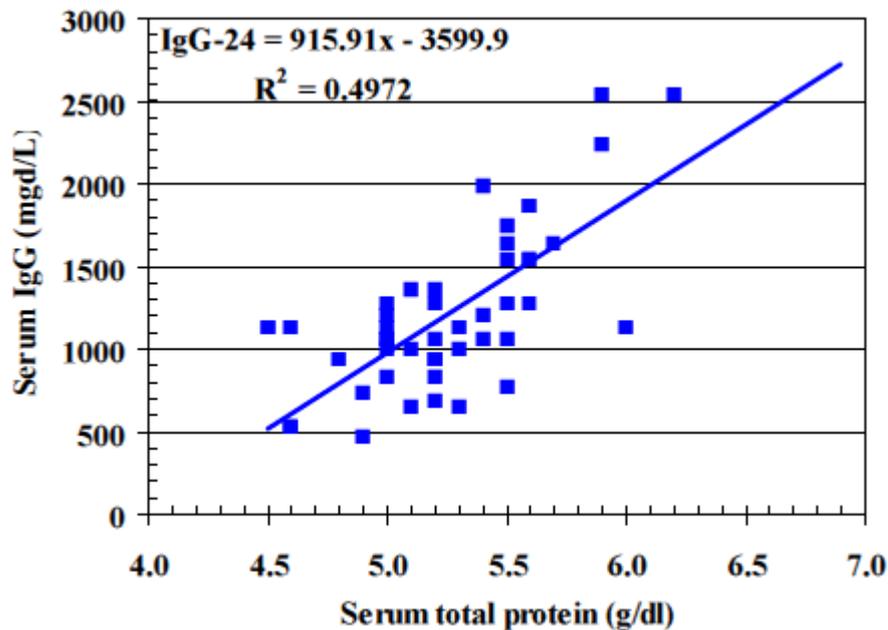


Figure 11 : Relation entre la teneur en protéines totales dans le sérum et la concentration sérique en IgG à 24h de vie (d'après **J. D. Quigley et al., 2001**).

Les seuils suggérés par les experts varient entre 50 g/L à 58 g/L. Selon **Hernandez et al. 2016**, le transfert de l'immunité passive est bon lorsque la concentration sérique des protéines totales est supérieure à 52g/L pour un individu, 55g/L à l'échelle d'un lot. En deçà de ces valeurs on parlera d'échec de transfert de l'immunité passive (**Morin 2019; Gauthray 2019**).

IV.2.2.1. Avantages et inconvénients

La réfractométrie s'avère être une technique simple et rapide, peu coûteuse, relativement robuste. **Wallace et al (2006)** ont montré que l'analyse du sérum centrifugé et celle du sérum récolté par décantation est hautement corrélée ($R^2 = 0.95$) rendant ainsi cette analyse encore plus pratique pour les éleveurs qui n'ont pas besoin d'investir dans une centrifugeuse. Mais d'un autre côté l'indice de réfraction varie en fonction de la température de la solution à analyser et, des réfractomètres ATC (Automatic Temperature Compensation) ont été commercialisés. A l'échelle individuelle, le dosage des protéines totales n'est pas conseillé (**S. Godden, 2008**) en raison de sa faible sensibilité. En revanche c'est une analyse qui devient intéressante à l'échelle du troupeau car la sensibilité se trouve augmentée. Parmi les 2 réfractomètres il faut souligner que le réfractomètre digital semble plus précis car l'affichage numérique de la valeur évite les biais de lecture (**Vandeputte 2019**).

IV.2.3. Mesure de l'activité du gamma-glutamyl-transférase

Les GGT sont des enzymes qui participent au métabolisme des acides aminés (**Kaneko et al., 2008**). Elles sont présentes dans différents tissus comme les reins, le pancréas, les intestins et le foie. Les

GGT sont aussi synthétisées au niveau des cellules des canaux mammaires (**Baumrucker 1979; Thompson et Pauli 1981**). L'activité GGT sérique des veaux nourris au colostrum est 60 à 160 fois plus élevée que celle des bovins adultes sains (**Güngör et al.,2004**).

Cette enzyme est absorbée de façon non sélective par le veau nouvellement né en même temps que les Ig (**Smith, 2014**).

L'augmentation des GGT sériques dans les premiers jours de vie du veau peut donc être reliée à l'ingestion de colostrum (**Braun et al., 1982**). Cependant, la concentration GGT varie beaucoup entre individus et chute rapidement au cours des deux premières semaines post *partum* (**Weaver 2000; Hogan 2015**). Ce dosage a été évalué en tant qu'estimation de la concentration sérique en IgG, de ce fait, après 24 heures, 4 jours et 7 jours de vie, un taux de GGT inférieur à 200 , 100 et 75 UI/L, correspond à un taux sérique d'IgG de <10g/L chez le nouveau-né (**Parish et al., 1997; Stenger et al., 2016; Vandeputte, 2019**).

En effet, le taux de GGT n'est qu'un témoin de l'absorption du colostrum par le veau étant donné que cette enzyme est présente en grande quantité dans le colostrum, quelle que soit la qualité en Ig de ce dernier (**Hogan et al.,2015**).

IV.2.3.1. Avantage et inconvénients

Ce test est semi-quantitatif, il ne peut pas être mise en œuvre sur le terrain puisqu'elle nécessite un dosage d'activité enzymatique, souvent réalisé à la clinique avec un analyseur de biochimie. De plus, le prélèvement de sang doit être très précoce du fait de la décroissance rapide de la concentration en GGT. Le dosage des GGT chez le veau nouveau-né ne peut être utilisé uniquement comme un marqueur de la prise colostrale mais n'oriente pas sur la qualité de cette dernière, c'est-à-dire sur la concentration en IgG (**Weaver 2000; Vandeputte 2011**).

IV.2.4. Tests de précipitation au sulfate de zinc et au sulfite de sodium

Les tests de précipitation au sulfate de zinc et au sulfite de sodium sont basés sur la capacité de ces sels à précipiter les protéines de haut poids moléculaire, dont font partie les immunoglobulines (**Jacques, 2012**).

IV.2.4.1. Test de précipitation au sulfate de zinc (ZnSO₄)

0,1 ml du sérum à tester sont mélangés à 6 ml de sulfate de zinc (à une concentration de 350 mg/L). Le mélange est mis à incuber pendant une heure à température ambiante. La lecture du test se fait en évaluant le degré de précipitation.

L'absorbance à 660 nm a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre et la turbidité a été convertie en mg d'IgG/L après avoir produit une courbe standard dérivée d'échantillons présentant des

concentrations connues d'IgG bovines , ou effectuée visuellement (**Pfeiffer et al. 1977**) plus la turbidité est importante, plus l'échantillon testé est riche en immunoglobulines (**Ravary et Sattler, 2006**). Inversement, l'absence ou la diminution de la quantité de précipité formé indique un défaut de transfert passif des immunoglobulines. cette technique s'utilise comme outil d'évaluation du TIP, puisque des études ont démontré que la turbidité est corrélée aux IgG sériques (**Jacques 2012; Morin 2019; Souza et al. 2021**).

IV.2.4.2. Test de précipitation au sulfite de sodium (Na₂SO₃)

Pour le test de turbidité au sulfite de sodium, 3 concentrations de sulfite de sodium (Na₂SO₃) à 14, 16 et 18 % ont été préparées avec de l'eau distillée, et pour chaque échantillon de sérum, trois tubes à essai en borosilicate (13 × 100 mm) contenant 9mL de chacune de ces solutions sont mélangés à 0,1mL du sérum à tester. Les trois mélanges sont ensuite incubés 15 minutes à 23°C.

Il est possible de conclure à l'absence de transfert passif de l'immunité lorsqu'aucune précipitation n'a lieu avec la solution à 18 %, Ainsi, ils suggèrent d'utiliser uniquement la solution de 18 % pour maximiser l'exactitude du test à identifier les veaux avec un TIP adéquat (**Tyler et al. 1996 ; Tyler et al. 1999**).

Tableau 3 : Estimation de la concentration d'immunoglobulines sérique selon les résultats de la précipitation au sulfate de sodium (**Morin, 2019**).

Concentration sérique d'IgG (g/L)	Concentration du réactif de sulfite de sodium		
	14 %	16 %	18 %
<5	-	-	+
5 à 15	-	+	+
>15	+	+	+

- : Aucune précipitation 1 heure après l'ajout de la solution de sulfate de sodium

+ : Présence d'une précipitation après l'ajout de la solution de sulfate de sodium

IV.2.4.3. Avantages et inconvénients

Les tests de précipitation au sulfate de zinc et au sulfite de sodium sont des techniques simples, semi quantitative, relativement rapides, faciles à réaliser et peu coûteuse. Cependant elles nécessitent la réalisation d'un prélèvement sanguin et un équipement de laboratoire afin de mener le test et de le lire, souvent incompatible avec une utilisation sur le terrain. D'autre part, les performances de ces test sont assez hétérogènes (**Weaver 2000; Godden 2008**). En plus, des facteurs tels que l'hémolyse de l'échantillon, selon **Pfeiffer et McGuire (1977)**, le temps de réaction, la température ambiante et le CO₂ agissant sur la solution de ZnSO₄ (**Stenger et al., 2016; Souza et al. 2021**).

IV.2.5. Test de coagulation au glutaraldéhyde

En 1979, **Tennant et al.**, ont développé un test pour estimer la concentration sérique de gammaglobulines par la coagulation de ceux-ci, 500 µL du sérum à tester sont mélangés à 50 µL d'une solution de glutaraldéhyde à 10 %. La lecture est réalisée au bout d'une heure, lorsque la concentration en immunoglobulines de l'échantillon est supérieure à 6 g/L, il se forme un caillot ferme, opaque, de couleur jaune. Lors de réaction incomplète, seul un gel semi-solide apparaît au sommet du tube, ce qui reflète une concentration sérique en Ig de 4 à 6 g/L. Toute absence de coagulation traduit une concentration en immunoglobulines inférieure à 4g/L (**Jacques, 2012**).

IV.2.5.1. Avantage et inconvénients

Cette technique permet d'identifier une certaine proportion des veaux avec un mauvais TIP (<6 g/L Ig). Elle n'est toutefois pas adaptée pour identifier les veaux avec un TIP < 10g/L d'Ig (**Besser et al., 1994**), qui est le seuil généralement recommandé pour réduire l'incidence de maladies et de mortalité néonatale (**McGuirk et al., 2004**).

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Objectif de l'étude

Le transfert passif d'immunité est l'un des paramètres à maîtriser dans l'amélioration des performances des veaux et surtout dans la lutte contre les pathologies néonatales.

En effet le colostrum contient une grande quantité d'immunoglobulines qui offrent une protection pour le veau contre les agents pathogènes durant les premières semaines de vie. Ainsi pour s'assurer que les veaux sont correctement immunisés et que la gestion du colostrum est efficace, il est nécessaire d'évaluer la qualité de TIP.

Le TIP se mesure de deux façons : directement par la mesure des IgG sériques ou indirectement par la mesure des protéines totales (PT) et autres tests.

Parmi ces méthodes on a choisi le dosage sérique des protéines totales par la méthode du Biuret. Elle est considérée comme l'une des méthodes les plus fiables, relativement rapide et facile à réaliser au niveau du laboratoire, mais il existe peu d'étude qui ont été réalisées sur la base de cette méthode. Raison pour laquelle on a choisi de travailler sur avec cette méthode.

Donc un suivi du TIP est une mesure très importante, pour la détection précoce des échecs du TIP, tant au niveau individuel qu'au niveau du troupeau, et qui est essentielle pour améliorer la santé et la gestion des veaux.

Dans ce sens, l'objectif de cette étude au niveau du troupeau est :

- D'étudier la qualité du TIP chez des veaux nouveaux nés par le dosage sérique des protéines totales.
- D'estimer la prévalence du défaut du transfert de l'immunité passive (DTIP).
- D'évaluer l'importance de certains facteurs qui influencent le TIP.

II. Matériel et méthode

II.1. Zone et période d'étude

La présente étude a été menée de Mars à Août 2022 au niveau d'une exploitation de bovins laitiers.

Cette ferme expérimentale est située dans la région Est de Tipaza, daïra de Hamer El Ain commune de Sidi Rached (figure12).

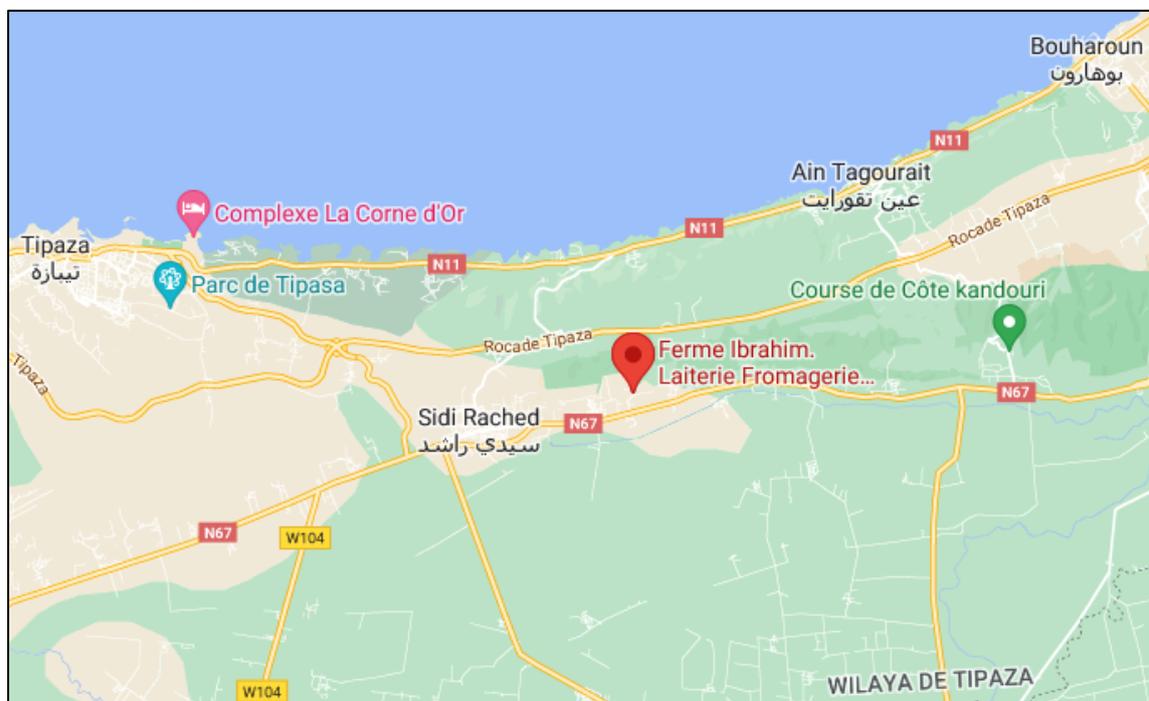


Figure 12 : Localisation de la ferme enquêtée en région Est de Tipaza (Google Maps).

Description de la ferme

Cette ferme est un complexe de production laitière qui regroupe plusieurs projets, la production fourragère (ensilage de sorgho, paille, foin d'avoine...), une ferme moderne d'élevage bovin laitiers (environ 160 têtes), une unité de transformation du lait et dérivés.

Nous avons observé au cours de notre visite les caractéristiques suivantes :

- Le type d'élevage : intensif.
- Les races élevées : Holstein ; Montbéliarde ; Fleckvieh.
- Bovins en stabulation libre en logette.
- L'identification des veaux dès la naissance par deux boucles en plastiques agréées, une boucle à chaque oreille, portant le même numéro national d'identification.
- Présence d'une salle de traite mécanique.
- Un niveau d'hygiène assez important.
- La ration est composée de fourrage et du concentré distribuée selon les besoins de chaque vache.

- La reproduction se fait par insémination artificielle.
- Des séances de vaccination (contre la fièvre aphteuse, la pasteurellose.)
- Des déparasitages sont faits de manière systématique.

II.2. Bovins concernés

La population de notre étude est composée de veaux nouveau-nés de 3 races différentes âgés de 1 à 3 jours. Les animaux ont été prélevés entre le mois de Mars et le mois d'Août 2022. Au total 48 veaux ont été inclus dans cette étude.

II.3. Prélèvements et informations recueillies

II.3.1. Récolte de différentes données liées au veau

Pour chaque vêlage, les données suivantes ont été enregistrées par le vétérinaire responsable :

- L'identification de la mère et du veau
- La race du veau
- Le sexe du veau
- Le poids du veau à la naissance
- Conditions du vêlage
- Le délai entre la mise bas et la première tétée
- La méthode d'administration du colostrum
- La quantité du colostrum administrée si connue
- La qualité du colostrum (dosage systématique du colostrum par réfractométrie ou colostrométrie)
- Le délai entre le vêlage et prélèvement sanguin

III.3.2. Prise de sang et obtention de sérum

III.3.2.1. Prélèvement

Pour chaque veau, les échantillons sanguins ont été prélevés par ponction veineuse jugulaire sur des veaux sains âgés de 24 heures à 3 jours.

Le sang total a été prélevé dans des tubes sous vide stériles de 10 ml sans anticoagulant (tube sec).

III.3.2.2. Centrifugation et transport des échantillons

Après la collecte du sang, celui-ci a été conservé à température ambiante pendant 15 à 30 minutes pour permettre la formation d'un caillot, ensuite il a été centrifugé à 3 500 tours/minute pendant 5

minutes. Une fois séparé, le sérum est mis dans des tubes Eppendorf avec identification puis conservé à -20°C jusqu'au traitement ultérieur au laboratoire de l'école.

Les sérums sont acheminés sous couvert du froid positif ($+4^{\circ}\text{C}$) au laboratoire.

II.3.3. Analyses de laboratoire

Les échantillons de sérums sont analysés au laboratoire de la biochimie médicale au niveau de l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger. La méthode retenue pour le dosage des protéines totales (PT) est la méthode du Biuret.

II.3.3.1. Principe

Le dosage des protéines totales est effectué selon la méthode chimique colorimétrique de Biuret. En milieu alcalin, les protéines qui possèdent au moins 4 liaisons peptidiques forment avec les ions cuivre II (Cu^{2+}) un complexe bleu-violet dont l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration en protéines. Cette coloration varie également en fonction de la nature des protéines à doser, de l'alcalinité du milieu, de la concentration en sulfate de cuivre et de la température.

Un dosage colorimétrique est mesuré par spectrophotomètre d'absorption à 540 nm.

II.3.3.2. Réactifs :

Les réactifs utilisés sont :

- Réactif de Biuret : mélange de sulfate de cuivre pentahydraté, de tartrate de sodium et potassium et d'hydroxyde de sodium (de couleur bleu).
- Solution standard (SS) contenant une concentration connue de 70 g/l (7 g/dl).

II.3.3.3. Protocole expérimental

Les étapes suivies pour le dosage des PT sont les suivantes :

- Étape 1 :
 - Décongélation des échantillons de sérum à température ambiante.
 - Préparation du matériel de manipulation : tubes, micropipette, embouts de micropipette, bain marie (37°C).
- Étape 2 : préparation d'un tube témoin contenant 1 ml de (SR) ; un tube standard contenant 1 ml de (SR) + 25 μl de SS et pour chaque tube échantillon on met 1 ml de SR + 25 μl de sérum à analyser.
- Étape 3 : homogénéisation puis incubation des tubes dans un bain marie à 37°C pendant 5 mn.
- Étape 4 : le contenu de chaque tube est déversé dans des cuves pour mesurer les absorbances des solutions à 540 nm.

- Étape 5 : Lecture au spectrophotomètre. On utilise le tube témoin pour calibrer l'appareil (mise à zéro du spectrophotomètre).

L'appareil calcule automatiquement et affiche directement la valeur de la concentration des PT de l'échantillon analysé en g/l.

III. RESULTATS

III.1. Répartition de la concentration des PTS des échantillons

Quarante-huit échantillons de sang veineux ont été prélevés des veaux nouveau-nés issus des mises-bas allant de Mars à Août 2022. La valeur maximale et minimale de nos échantillons est de 126 g/L et 40,9 g/L respectivement avec une moyenne : 67,1 g/l

Tableau 4 : Répartition des concentrations sériques des protéines totales.

Concentration sérique des PT	Nombre d'échantillons	Pourcentage	Concentration moyenne des PT
< 50 g/L	6	12,5 %	44,7 g/l
[50-56[g/L	4	8,3 %	53,5 g/l
≥ 56 g/L	38	79,2 %	72,1 g/l

III.2. La race des veaux

Les veaux ont été identifiés selon leurs races : Holstein ; Montbéliarde ; Fleckvieh avec la prédominance de la race Holstein et Fleckvieh (46 % et 40% respectivement).

La répartition des veaux issus de chaque race est représentée dans la figure 13.

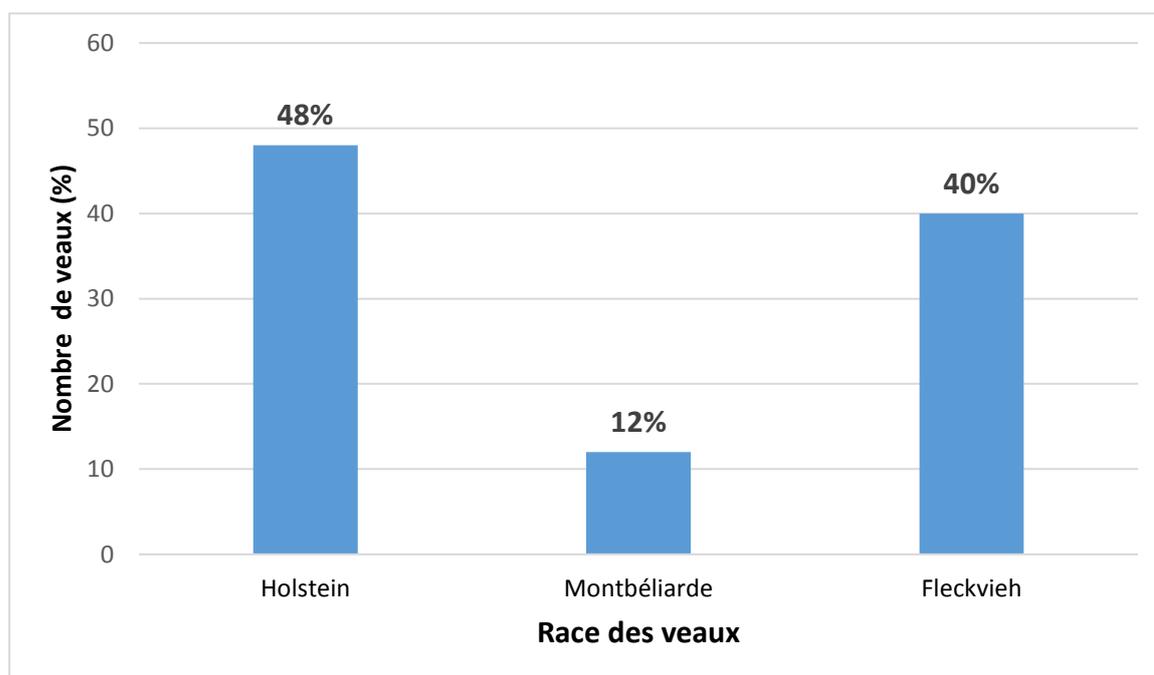


Figure 13 : Répartition des veaux en fonction de leur race.

III.3. Les conditions de vêlage

Six cas de dystocie ont été mentionné soit 13% de la population. La répartition des conditions de vêlage est représentée dans la figure 14.

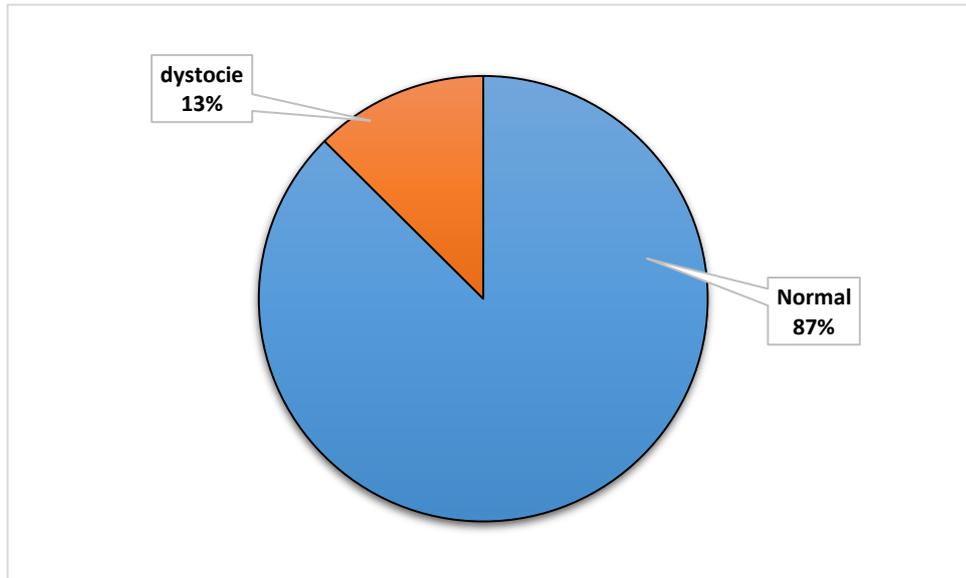


Figure 14 : Les différentes conditions de vêlage.

III.4. Le sexe des veaux

Pour chaque veau, il a été indiqué si c'était un mâle ou une femelle. On a donc 24 femelles soit 50% et 24 mâles soit 50% de la population étudiée (figure 15).

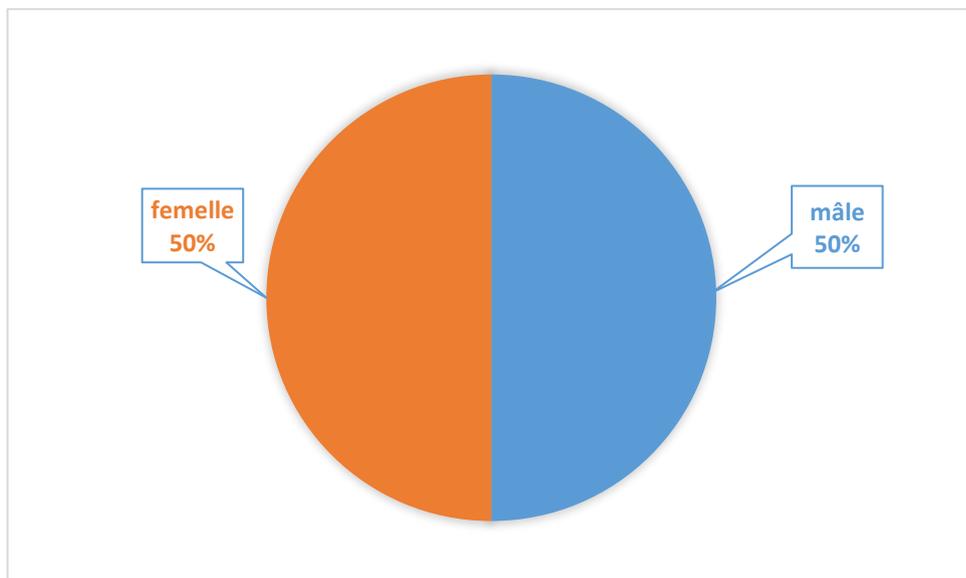


Figure 15 : Répartition des veaux en fonction de leur sexe.

III.5. Le poids des veaux

Cette information est disponible pour 19 veaux. Sur le site les veaux ont été divisés en 2 groupes selon le poids de naissance : inférieur ou égal à 49 kg soit 58% des veaux et supérieur 49kg soit 42%. Le poids moyen d'un veau nouveau-né est de 49 kg, le poids minimal est de 38 kg et le poids maximal est de 61kg (figure 16).

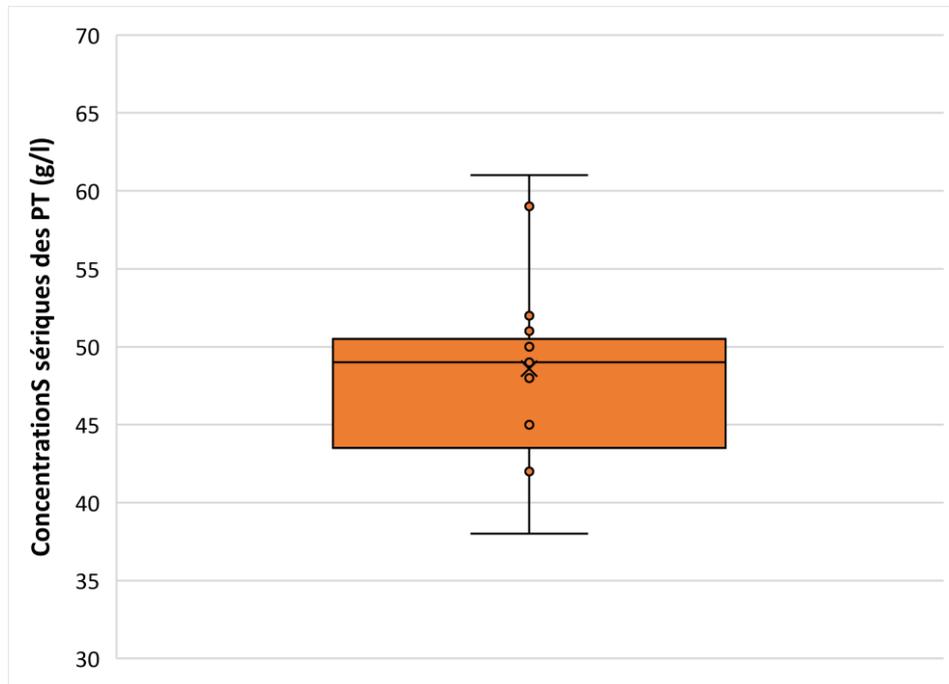


Figure 16 : Poids des veaux à la naissance (kg).

Le diagramme en boîte n'étant pas symétrique on peut dire que la répartition des poids à la naissance ne suit pas une loi normale.

La moyenne calculée est donc un bon reflet du poids moyen d'un veau nouveau-né dans l'élevage.

III.6. La qualité du colostrum distribuée

La qualité du colostrum ingéré par les veaux a été préalablement mesurée à l'aide d'un réfractomètre numérique et est répartie selon la valeur seuil de 22%.

Les résultats du dosage sont représentés dans l'histogramme rapporté dans la figure 17.

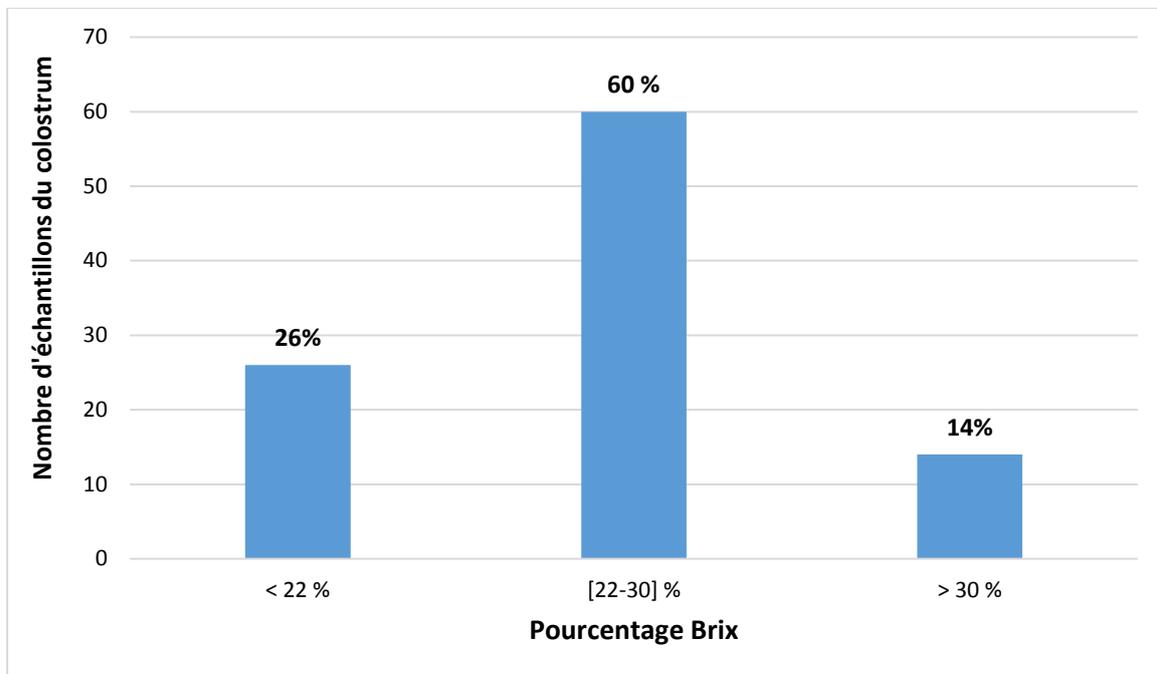


Figure 17: Répartition des colostrums selon leur pourcentage Brix.

Au total 43 colostrums ont été mesurés, 26% ont une valeur inférieure à 22% Brix (colostrum de mauvaise qualité), 60% ont une valeur entre 22 et 30% (colostrum de qualité moyenne) et 14% ont une valeur supérieure à 30% (colostrum de bonne qualité).

III.7. Mode d'administration de colostrum

Au niveau de la ferme ils ont mentionné d'avoir utilisé 2 modes d'administration du colostrum (la tétée naturelle et le biberon). Les pourcentages des veaux en fonction du mode d'administration de colostrum sont représentés dans la figure 18.

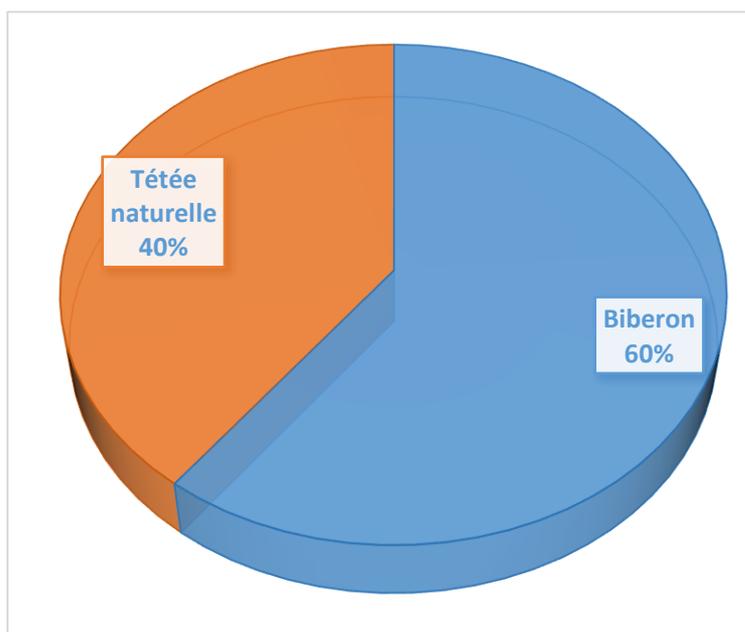


Figure 18 : Répartition des veaux selon le mode d'administration du colostrum.

III.8. Quantité de colostrum distribuée

Elles ne sont réellement connues que lorsque le veau est biberonné. Vingt-neuf veaux (60%) ont reçu 2L de colostrum.

III.9. Le délai entre la mise bas et la première tétée

Tous les veaux ont reçu le colostrum dans leurs 6 premières heures qui suivent leur naissance.

III.10. Le délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin

L'ensemble des prélèvements ont été effectués dans un délai compris entre 24h et 72h après la naissance.

Sept veaux ont été prélevés 24h après leur naissance, vingt veaux à 48h et vingt un veaux à 72h.

La répartition des veaux en fonction de délai de prélèvement sont représentés dans la figure 19.

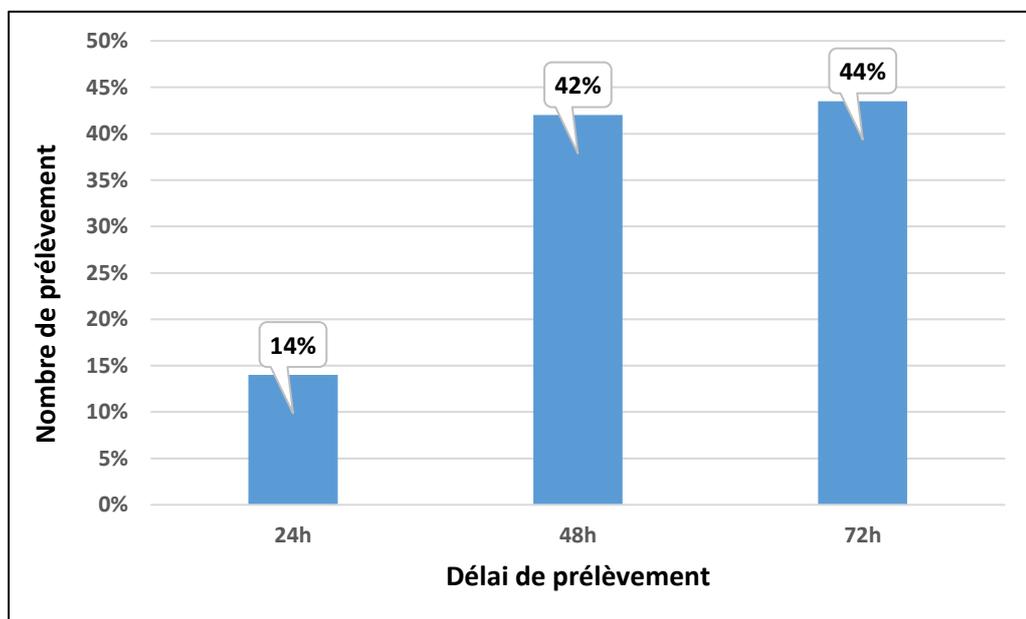


Figure 19: Répartition des veaux suivant le délai entre le prélèvement sanguin et le vêlage.

IV. Analyse des résultats

IV.1. Qualité du transfert de l'immunité passive

Les protéines totales sont un indicateur de la qualité de colostrum absorbée par le veau. La valeur doit être supérieure à 56 g/l pour dire qu'il a un transfert d'immunité réussi (Souza et al. 2021).

Parmi 48 veaux, 79% ont un taux sérique de protéines totales supérieur à 56 g/l avec une moyenne de 72,1 g/l et ont donc un transfert d'immunité passive réussi.

Près d'un quart des veaux (21%) sont en défaut de transfert passif (PTS <56 g/l), avec une moyenne de 48,3 g/l.

La figure 20 rapporte les résultats de notre étude concernant le taux de réussite et d'échec du TIP chez les veaux.

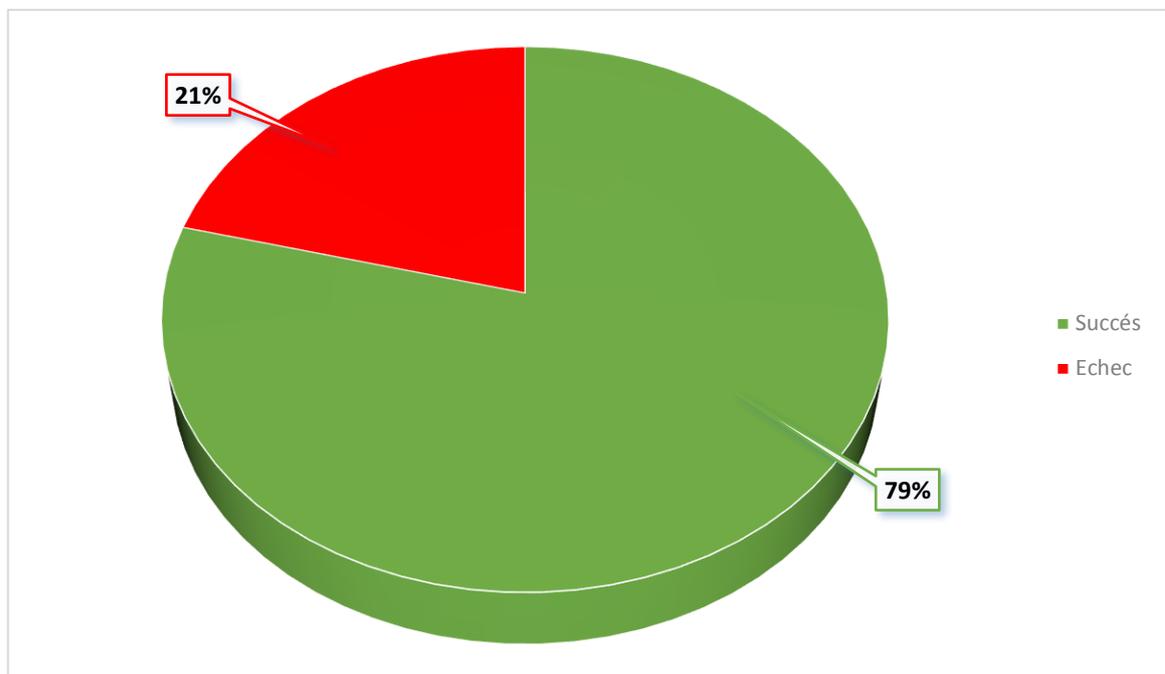


Figure 20: Représentation schématique de la qualité du transfert d'immunité passive.

IV.2. Etude de certains facteurs de variation du TIP

IV.2.1. Influence de la race du veau sur le transfert d'immunité passive

Les veaux de race Holstein ont une concentration sérique moyenne de protéines totales plus élevée par rapport aux veaux de races Montbéliarde et Fleckvieh avec des concentrations respectivement de 72,3 g/l, 64,1 g/l et 61,7 g/l.

La répartition des concentrations sont représentées dans la figure 21.

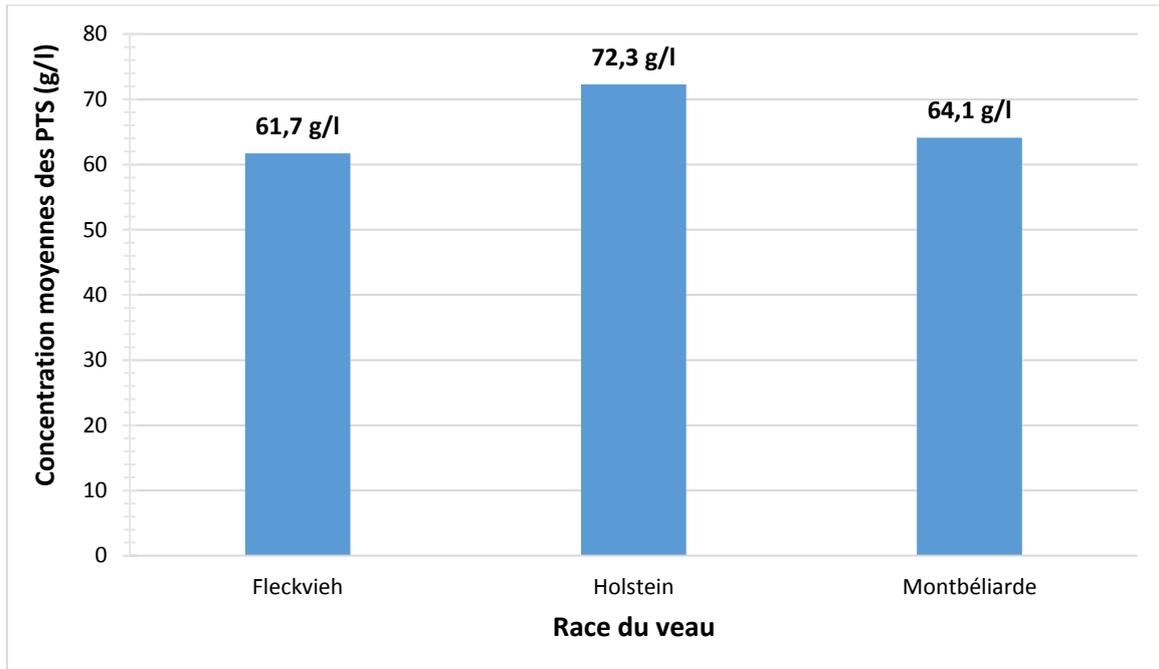


Figure 21: Répartition des concentrations moyennes des PTS selon la race du veau.

Parmi 19 veaux de race Fleckvieh, 32% ont une concentration sérique des PT sont inférieure au seuil de 56 g/L. 17% des veaux de race Holstein présentent une concentration sérique de PT inférieure à 56 g/L et aucun veau n'a présenté un échec de transfert d'immunité passive de la race Montbéliarde.

IV.2.2. Influence de sexe du veau sur le transfert d'immunité passive

Vingt-quatre veaux inclus dans l'étude étaient des femelles et vingt-quatre des mâles. La concentration moyenne des protéines sériques totales des veaux femelles était de 64,4 g/l et celle des veaux mâles était de 69,8 g/l (figure 22).

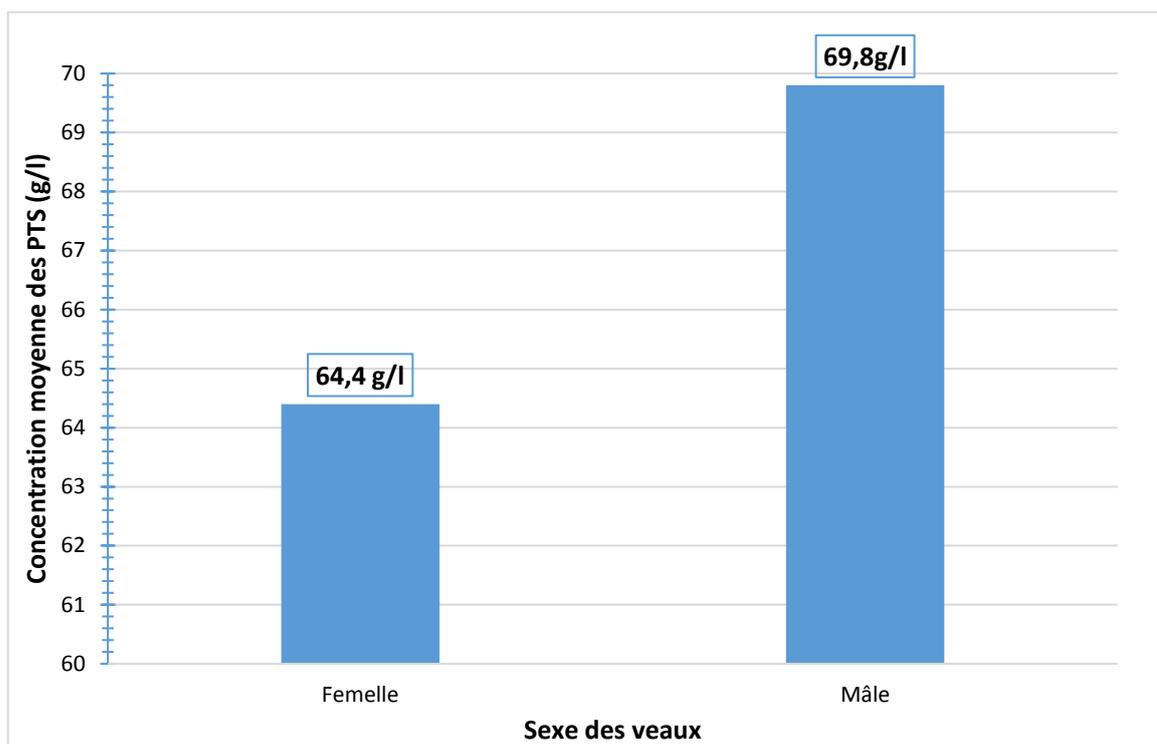


Figure 22: Répartition des valeurs des protéines sériques totales selon le sexe du veau.

Un échec de transfert d'immunité passive a été détecté chez 21% des mâles et 21% des femelles.

IV.2.3. Influence des conditions de vêlage sur le transfert d'immunité passive

La moyenne de concentration sérique moyenne des PT dans le sérum sanguin des veaux nés de vaches atteintes de dystocie était de 66,4 g/l, tandis que la concentration sérique moyenne des PT des veaux nés normalement était de 67,1 g/l (figure 23).

Un échec de transfert d'immunité passive a été détecté chez un seul veau né d'une vache présentant une dystocie et neuf veaux nés naturellement.

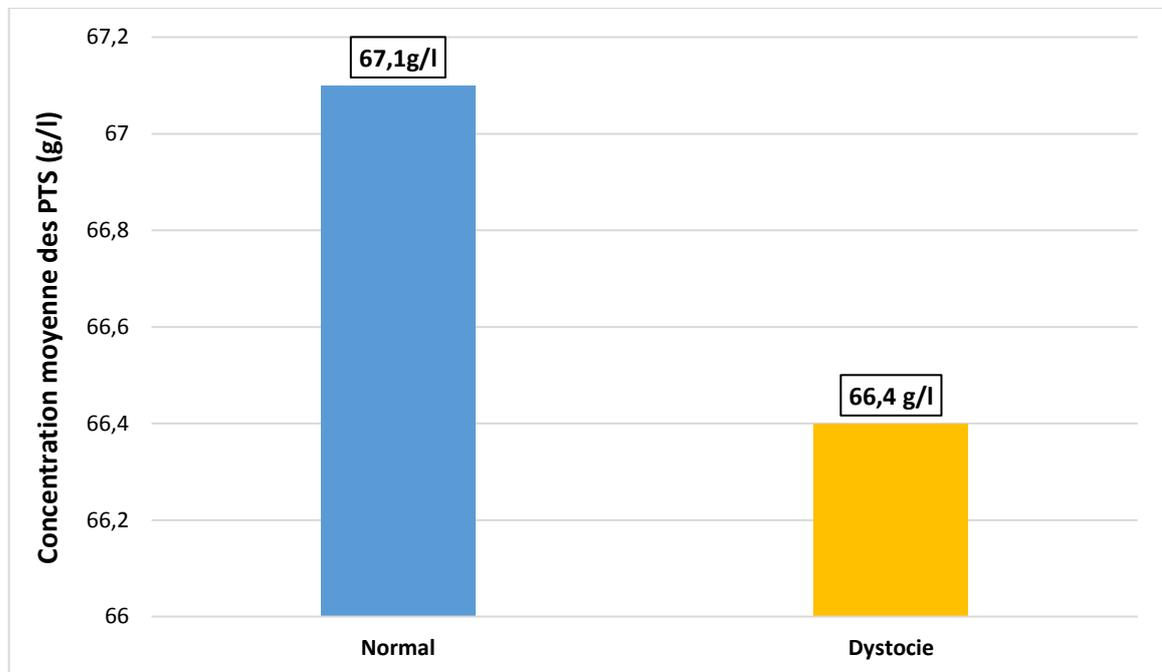


Figure 23: valeurs sériques moyennes des protéines totales en fonction des conditions du vêlage.

IV.2.4. Influence du mode d'administration du colostrum sur le transfert de l'immunité passive

Sur 48 veaux, 19 ont reçu leur premier colostrum par tétée naturelle et 29 ont été nourris au biberon.

La concentration sérique moyenne des protéines totales était de 70,6 g/l chez les veaux nourris au biberon et de 61,7 g/l chez les veaux nourris par tétée.

Le DTIP était de 31,6% chez les veaux nourris par tétée naturelle et 10,3% chez les veaux nourris au biberon.

IV.2.5. Influence de la qualité du colostrum sur le transfert de l'immunité passive

Au total, 43 échantillons de colostrum ont été analysés et la qualité moyenne du colostrum a été mesurée à 24,1% au réfractomètre numérique (BRIX).

Parmi ces échantillons, 11 (26%) étaient de mauvaise qualité (< 22%). Un échec de TIP a été observée chez 45,5 % des veaux consommant du colostrum de mauvaise qualité contre 12,5% des veaux nourris avec du colostrum de bonne qualité.

IV.2.6. Influence du poids du veau à la naissance sur le transfert d'immunité passive

Le poids de naissance de 19 veaux est inclus dans l'étude. Sur le site les veaux ont été divisés en 2 groupes selon le poids de naissance : inférieur ou égal à 49 kg soit 58% des veaux et supérieur 49kg soit 42%.

Dans ces 2 groupes, la concentration sérique moyenne des PT, dans l'ordre des groupes, étaient de 57,5 g/l et 63,4 g/l, la prévalence du DTIP était de 45,5% et 25% pour le groupe 1 et 2 respectivement.

IV.2.7. Influence du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin sur le transfert de l'immunité passive

La répartition de la concentration sérique moyenne des protéines totales des veaux selon le délai entre leur naissance et le prélèvement sanguin est représentée dans la figure 24.

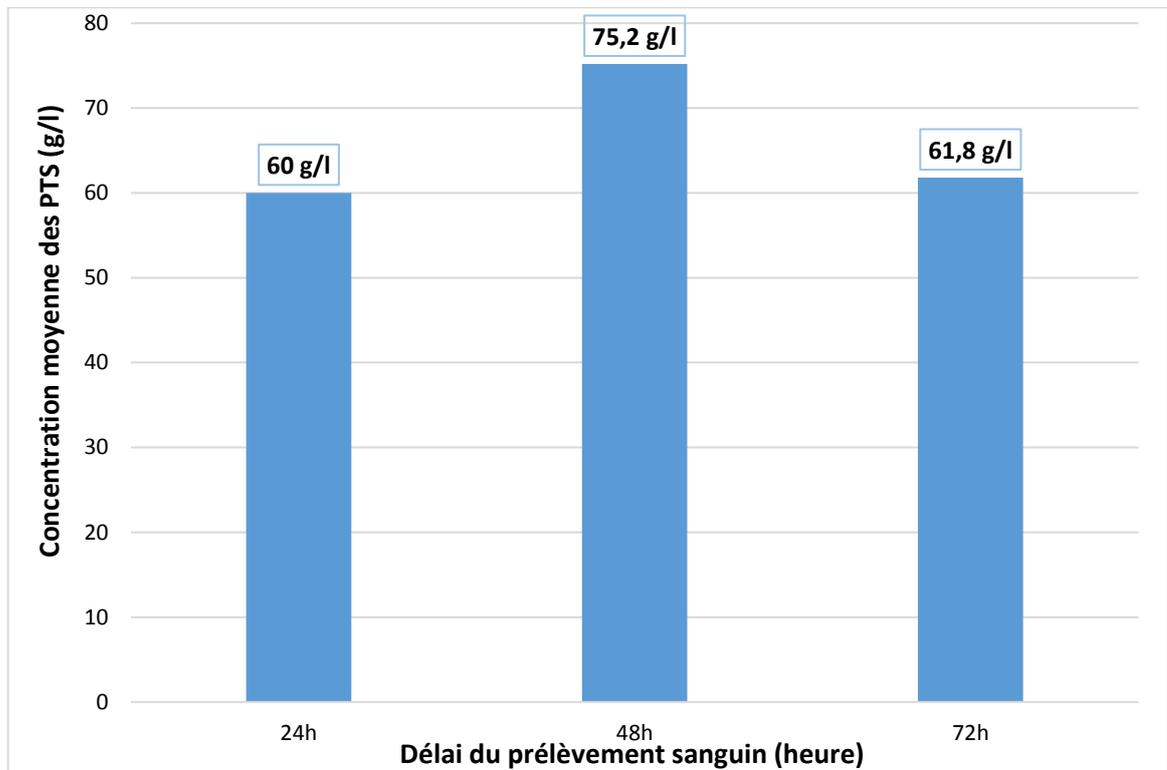


Figure 24: répartition des concentrations sériques des PT en fonction du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin.

On visualise sur ce graphique que la concentration sérique moyenne des protéines totales est maximale lorsqu'il est prélevé dans les 48h après la naissance du veau, en revanche elle est moindre lorsque celui-ci est prélevé à 24h et 72h.

V. Discussion

V.1. Qualité du transfert d'immunité passive

La prévention de la morbidité et de la mortalité néonatales des veaux dépend principalement du transfert passif de l'immunité (TIP).

Dans notre étude, la qualité du TIP est estimée en mesurant les concentrations en PTS par la méthode de biuret avec une valeur seuil de 56 g/l.

Selon **Denholm et al. (2021)** l'évaluation sérique des protéines totales en laboratoire par analyse biochimique pourrait être une méthode importante pour l'évaluation périodique de la qualité du TIP dans l'exploitation.

Les travaux de **Cornille (2015)** rapportent que la mesure de la concentration en protéines totales par le laboratoire est la méthode indirecte d'évaluation du TIP la plus performante.

L'absorption insuffisante des IgG maternelles, ou échec du transfert passif (TP), est définie comme une concentration sérique d'IgG < 10 g/L chez les veaux nouveaux nés (**Weaver et al., 2000; Godden, 2008**).

Denholm et al., ont évalué 101 échantillons provenant de veaux âgés de 1 à 7 jours et ont démontré que qu'une concentration de PTS de 56 g/l par la méthode du biuret était équivalente à une concentration d'IgG de 10 g/l par la méthode RID.

Dans la présente étude la concentration sérique moyenne des PT est mesurée à 67,1 g/l avec des valeurs qui variaient de 41 à 126 g/l. Valeur proche de celle rapportée par **Alberghina et al. (2011)** qui est de 67.54 g/l, contrairement à **Vandeputte et al. (2011)** et **Katsoulos (2017)** qui ont mesuré une concentration moyenne plus élevée de 86,3 g/l et de 75g/l respectivement.

La prévalence du défaut de transfert d'immunité passive (DTIP) se situerait entre 19 % et 41 % et pourrait encore être d'environ 25 % dans les exploitations où les pratiques de gestion sont optimales (**Godson et al.,2003**).

D'après nos résultats, la prévalence du DTIP était de 21%, ce qui correspond à la fourchette rapportée ci-dessus. Cela pourrait être dû au fait que la ferme incluse dans cette étude appliquait de bonnes pratiques de gestion.

Les comparaisons de la prévalence du DTIP avec les études précédentes sont compliquées par les différences dans la concentration de TP dans le sérum utilisé comme seuil.

Cependant, quelle que soit la valeur seuil, nos résultats se situent dans la fourchette rapportée dans d'autres pays (**TrotzWilliams et al. 2008 ; Beam et al. 2009 ; Vogels et al. 2013**).

Dans l'étude de **vandeputte et al. (2011)** la prévalence du DTIP était de 16,7%, valeur inférieure à celle obtenue dans l'étude actuelle en utilisant le même seuil.

Une prévalence de 40% a été mesurée dans l'étude de **Cuttance (2017)** avec un seuil de 55g/l.

Denholm et al. (2021) ont trouvé quant à eux une prévalence de 11,9% en utilisant un seuil de 52g/l. Selon **Lawrence et al. (2017)** une prévalence de 25% a été signalée chez les veaux laitiers, en utilisant un seuil de 50 g/L de TP dans le sérum.

V.2. Effet de la race du veau sur le transfert de l'immunité passive

Dans notre étude, l'occurrence du DTIP était plus faible chez les veaux Holstein que chez les veaux Fleckvieh (17% contre 32%), nous n'avons enregistré aucun veau de race montbéliarde avec un échec de transfert d'immunité passive.

De même que nous, **Staněk et al. (2019)** ont trouvé des différences significatives entre la race Holstein et Fleckvieh avec une prévalence de 24,2 % contre 42,9 %.

Vogels et al. (2013), ont rapporté que les veaux de race Jersey et croisés Jersey étaient moins susceptibles d'être atteints de FPT que les veaux Holstein (26,9 % et 30,7 % contre 42,6 %). Ces auteurs ont supposé que cela pouvait être lié à la taille plus Jersey, car le volume plasmatique (et donc la masse absolue d'immunoglobuline requise) est étroitement lié au poids corporel. Leurs résultats, et donc aussi l'interprétation, sont discutables car l'étude plus récente (**McCracken et al., 2017**), a révélé que les veaux jersiais ont besoin d'un seuil différent, c'est-à-dire plus bas, pour l'indication d'un DTIP.

V.3. Effet du sexe sur le transfert de l'immunité passive

Le sexe des veaux est l'un des nombreux facteurs dont on pense qu'ils jouent un rôle critique dans l'incidence du DTIP (**McGuirk et Collins, 2004**).

Nous avons étudié l'influence du sexe des veaux cette variable ne s'est pas avérée statistiquement significative, car la proportion de veaux mâles atteints du DTIP était très similaire chez veaux femelles. La même conclusion a été tirée par **Trotz-Williams et al. (2008)**, qui n'ont trouvé aucune différence statistiquement significative dans le statut de transfert passif chez les veaux, ainsi que **Kara et Ceylan (2021)** ont signalé des changements insignifiants.

Cependant, le résultat opposé a été trouvé par **Perino et al. (1995)**, **Filteau et al. (2003)** et **Vogels et al. (2013)**. Ils ont trouvé que le sexe des veaux était associé à un échec du transfert d'immunité passive, les veaux mâles avaient deux fois plus de chances d'être atteints d'un DTIP que les veaux femelles.

Ces derniers, ont attribué la différence de réussite du transfert passif des veaux femelles et mâles à un poids de naissance plus élevé chez les mâles et à des naissances plus difficiles qu'ils pourraient connaître.

V.4. Effet de la qualité du colostrum sur le transfert de l'immunité passive

Dans notre étude, l'analyse de la qualité immune du colostrum a révélé que 25 % étaient de mauvaise qualité et un échec de TIP a été observé chez 21 % des veaux. Le pourcentage global d'échantillons de colostrum de mauvaise qualité était similaire à celle décrite par **Lora et al. (2018)** qui est de 26,5 %. Cependant, 41% des veaux ont été trouvés en échec de TIP.

Dans l'étude de **Kara et Ceylan (2021)**, qualité du colostrum s'est avérée significative. La concentration colostrale en IgG était de 90,41 g/l et le taux de vaches produisant un colostrum de mauvaise qualité était de 12.12%. La prévalence du DTIP chez les veaux était de 17,25 %

Les travaux de **Allemand (2008)** ont mis en évidence une influence significative de la qualité colostrale sur le transfert d'immunité passive dans son étude, il a montré que le pourcentage de veaux dont la concentration sérique est inférieure à 5g/L augmente lorsque la qualité colostrale diminue.

Dans l'étude de **Jaster (2005)** menée sur des veaux Jersey nourris avec le même volume de colostrum, mais à des concentrations en IgG différentes, il a été conclu que les veaux qui ont reçu un colostrum de haute qualité (84 g/l) avaient des concentrations sériques et en protéines totales plus élevées que les veaux qui ont reçu un colostrum de faible qualité (31,2 g/l).

V.5. Effet du poids du veau à la naissance sur le TIP

Dans cette étude, la concentration sérique moyenne des PT chez les veaux dont leur poids est inférieur à 49kg était de 57,5 g/l et celle des veaux dont le poids est supérieur à 49kg était de 63,4 g/l, la prévalence du DTIP était de 45,5% et 25% pour le groupe 1 et 2 respectivement.

Les chercheurs avancent des opinions différentes concernant l'effet du poids du veau sur le TIP. **Perino et al. (1995)** et **Filteau et al. (2003)**, ont rapporté une prévalence du DTIP plus élevée aux veaux ayant un poids de naissance élevé, ceci a été attribué à la dystocie. Leurs résultats étaient en contradiction avec ceux de **Robinson et al. (1988)** et **Chigerwe et al. (2008)**, ils ont conclu que le poids de naissance n'a pas influencé les concentrations sériques d'Ig chez les veaux.

V.6. Effet du mode d'administration du colostrum sur le transfert d'immunité passive

Dans notre étude, la prise colostrale par tétée est apparue fortement plus à risque de DTIP que le biberonnage.

D'autres études ont mis en évidence l'effet positif sur le TIP d'une prise colostrale au biberon par rapport à la tétée n'apparaît pas plus à risque (**Besser et al. 1991**).

Chez les veaux laitiers une plus forte proportion d'échecs du TIP est observée chez les veaux nourris à la mère (61,4 %) comparativement aux veaux nourris au biberon (19,3 %) (**Besser et al., 1991**). En effet, selon **Godden (2008)** les veaux laitiers n'ingèrent pas toujours volontairement un volume suffisant de colostrum dans un délai adéquat pour couvrir leurs besoins.

Les résultats de l'étude de **Lora et al. (2018)**, en l'occurrence la plus faible de DTIP (concentration sérique d'Ig du veau <10 g/l) a été trouvée chez les veaux nourris au biberon 22% par rapport aux veaux nourris naturellement 60%. Selon ces auteurs, ceci était probablement lié au fait que le colostrum des vaches était de qualité insuffisante.

Des résultats similaires ont été rapportés par **Besser et al. (1991)**, **Rajala et Castrén (1995)** et **Filteau et al. (2003)**, probablement en raison de l'incapacité de certains veaux à consommer spontanément suffisamment de colostrum dans les 6 heures de vie. Dans les conditions naturelles, la vitalité du veau est cruciale dans la recherche des trayons, et elle affecte à la fois le moment de la première tétée après la naissance et la quantité de colostrum ingérée.

V.7. Effet des conditions de vêlage sur le transfert de l'immunité passive

Les résultats de la présente étude ont montré que la difficulté du vêlage n'a pas d'effet significatif sur le transfert d'immunité passive chez le veau. Cette constatation est similaire aux résultats de l'étude de **Gauthray (2019)**.

La dystocie a été rapportée dans la littérature comme étant un facteur associé au TIP, puisque les veaux nés d'une dystocie présentaient des concentrations moyennes en IgG (24 h après la naissance) inférieures aux veaux nés d'une mise bas normale (**Odde, 1988 ; Perino et al., 1995**). La relation mesurée provient en partie du fait que les veaux nés d'une dystocie sont plus susceptibles d'avoir une acidose respiratoire et métabolique (**Szenci, 1983**).

En effet, les veaux en acidose respiratoire ont une moins bonne capacité d'absorption des IgG (**Besser et al., 1990**), ce qui influence le TIP. Également, il a été démontré que les veaux en acidose sont moins vigoureux, prennent plus de temps à téter et ils peuvent être trop faibles pour consommer un volume adéquat de colostrum (**Weaver et al., 2000**). Par contre, **Tyler et Ramsey (1991)** n'ont trouvé aucun effet de l'acidose sur l'absorption des IgG.

V.8. Influence du délai entre le vêlage et le prélèvement sanguin sur le transfert de l'immunité passive

Notre étude a montré que la concentration sérique moyenne en PT mesurée à 48h après le vêlage est plus élevée que celle observée à 24h et 72 h après la naissance.

Selon les résultats de **Stott et al, (1979)** et **Hassig et al., (2007)**, les concentrations maximales sont observées environ 24 à 36 heures après la prise colostrale.

La concentration sérique en IgG diminue progressivement après le pic d'absorption. Ainsi, une concentration légèrement inférieure au seuil (10 g/L par exemple) sur un veau âgé de 6 jours n'a pas la même signification que chez un veau âgé de 48 heures (**Allemand 2008**).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le veau naît agammaglobulinémique et par conséquent, il dépend entièrement du transfert d'immunité passive pour l'acquisition d'un système immunitaire spécifique humoral, mais aussi en partie cellulaire. L'échec du transfert d'immunité passive est défini comme une concentration sérique en immunoglobulines circulantes trop faible. Cet échec accroît le risque de mortalité et de morbidité néonatale pour le nouveau-né.

Dans le cadre de la gestion du TIP dans une exploitation, il est important d'évaluer régulièrement le suivi et le bon fonctionnement des mesures mises en place par le vétérinaire et l'exploitant.

Dans cette étude, nous avons déterminé la prévalence du transfert d'immunité passive et diagnostiquer les échecs du TIP chez des veaux nouveaux nés au sein d'une exploitation laitière.

Plusieurs méthodes d'investigation du TIP ont été décrites précédemment, dans cette étude nous avons utilisé une méthode de laboratoire basée sur le dosage sérique des protéines totales à l'aide d'un analyseur biochimique par la réaction de Biuret. Cette méthode fournit une mesure indirecte de la concentration d'IgG dans le sérum du veau. Nos résultats révèlent que 21% des veaux sont en échec de TIP avec une concentration moyenne de PTS de 48,3 g/L, inférieure au seuil fixé (56 g/L).

Le type racial, la qualité du colostrum et son mode de distribution influençaient significativement la qualité du TIP.

Étant donné que le veau est la première source de revenu pour l'éleveur, certains facteurs sont maîtrisables pour lutter contre les pertes économiques qu'un échec de TIP peut engendrer, ainsi une prise précoce d'un colostrum de bonne qualité et en quantité adaptée est un point clé que l'éleveur doit superviser pour avoir un transfert d'immunité réussi et améliorer les performances zootechniques, notamment en termes de morbidité et de mortalité néonatale.

D'une manière générale, les conclusions de toutes nos analyses correspondent avec les données de la littérature. La réalisation d'une étude à plus grande échelle, permettrait d'obtenir des valeurs plus représentatives de la qualité de TIP. Par conséquent, il serait intéressant de pouvoir réévaluer le TIP sur un effectif plus important d'animaux dans différents élevages.

De même, cette étude permettrait d'investiguer d'autres facteurs susceptibles d'interférer avec l'absorption active des Ig par le veau. La connaissance de l'ensemble de ces facteurs permettrait d'optimiser l'acquisition d'une immunité colostrale chez le veau. Ces facteurs de variations pourraient inclure la quantité administrée, le délai entre la naissance et la première prise colostrale.

Bien que le spectrophotomètre ait montré son utilité dans les dosages des PTS pour l'évaluation de la qualité du TIP, la nécessité de laboratoire confirme que c'est plus intéressant de disposer d'une méthode rapide, précise et réalisable sur le terrain pour évaluer la qualité de TIP.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Allemand, H. (2008).** Évaluation par la technique d'immunodiffusion radiale de la qualité du colostrum et du transfert colostral chez les bovins [PhD Thesis].
2. **Alley, M. L., Haines, D. M., & Smith, G. W. (2012).** Evaluation of serum immunoglobulin G concentrations using an automated turbidimetric immunoassay in dairy calves. *Journal of dairy science*, 95(8), 4596-4599.
3. **Allix J.P (2014).** Pratiques, perceptions et attentes des éleveurs sur le transfert d'immunité, *Bull. GTV*, 73 : 101-105.
4. **Amalric, S. (2011).** Variabilité de la concentration en immunoglobulines G du colostrum de brebis et conséquences sur la survie précoce de l'agneau [PhD Thesis].
5. **Ameri, M., & Wilkerson, M. J. (2008).** Comparison of two commercial radial immunodiffusion assays for detection of bovine immunoglobulin G in newborn calves. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 20(3), 333-336.
6. **Barrington, G. M., & Parish, S. M. (2001).** Bovine neonatal immunology. *Veterinary Clinics of North America : Food Animal Practice*, 17(3), 463-476.
7. **Baumrucker, C. R. (1979).** γ -Glutamyl transpeptidase of bovine milk membranes : Distribution and characterization. *Journal of Dairy Science*, 62(2), 253-258.
8. **Beam, A. L., Lombard, J. E., Koprak, C. A., Garber, L. P., Winter, A. L., Hicks, J. A., & Schlater, J. L. (2009).** Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations. *Journal of dairy science*, 92(8), 3973-3980.
9. **Besser, T. E., Garmedia, A. E., McGuire, T. C., & Gay, C. C. (1985).** Effect of colostral immunoglobulin G1 and immunoglobulin M concentrations on immunoglobulin absorption in calves. *Journal of Dairy Science*, 68(8), 2033-2037.
10. **Besser, T. E., & Gay, C. C. (1994).** The importance of colostrum to the health of the neonatal calf. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 10(1), 107-117.
11. **Besser, T. E., Gay, C. C., & Pritchett, L. (1991).** Comparison of three methods of feeding colostrum to dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 198(3), 419-422.
12. **Blättler, U., Hammon, H. M., Morel, C., Philipona, C., Rauprich, A., Romé, V., Le Huërou-Luron, I., Guilloteau, P., & Blum, J. W. (2001).** Feeding colostrum, its composition and feeding duration variably modify proliferation and morphology of the intestine and digestive enzyme activities of neonatal calves. *The Journal of nutrition*, 131(4), 1256-1263.
13. **Bourne, F. J., & Curtis, J. (1973).** The transfer of immunoglobulins IgG, IgA and IgM from serum to colostrum and milk in the sow. *Immunology*, 24(1), 157.
14. **Brambell, F. W. R. (1958).** THE PASSIVE IMMUNITY OF THE YOUNG MAMMAL. *Biological Reviews*, 33(4), 488-531.

15. **Brandon, M. R., Watson, D. L., & Lascelles, A. K. (1971).** The mechanism of transfer of immunoglobulin into mammary secretion of cows. *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science*, 49(6), 613-623.
16. **Braun, J. P., Tainturier, D., Laugier, C., Benard, P., Thouvenot, J. P., & Rico, A. G. (1982).** Early variations of blood plasma gamma-glutamyl transferase in newborn calves—A test of colostrum intake. *Journal of Dairy Science*, 65(11), 2178-2181.
17. **Brignole, T. J., & Stott, G. H. (1980).** Effect of suckling followed by bottle feeding colostrum on immunoglobulin absorption and calf survival. *Journal of dairy science*, 63(3), 451-456.
18. **Bühler, C., Hammon, H., Rossi, G. L., & Blum, J. W. (1998).** Small intestinal morphology in eight-day-old calves fed colostrum for different durations or only milk replacer and treated with long-R3-insulin-like growth factor I and growth hormone. *Journal of animal science*, 76(3), 758-765.
19. **Burton, J. L., Kennedy, B. W., Burnside, E. B., Wilkie, B. N., & Burton, J. H. (1989).** Variation in serum concentrations of immunoglobulins G, A, and M in Canadian Holstein-Friesian calves. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 135-149.
20. **Bush, L. J., Aguilera, M. A., Adams, G. D., & Jones, E. W. (1971).** Absorption of Colostral Immunoglobulins by Newborn Dairy Calves¹. *Journal of Dairy Science*, 54(10), 1547-1549.
21. **Bush, L. J., & Staley, T. E. (1980).** Absorption of colostral immunoglobulins in newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 63(4), 672-680.
22. **Chigerwe, M., Tyler, J. W., Middleton, J. R., Spain, J. N., Dill, J. S., & Steevens, B. J. (2008).** Comparison of four methods to assess colostral IgG concentration in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 233(5), 761-766.
23. **Chigerwe, M., Tyler, J. W., Nagy, D. W., & Middleton, J. R. (2008).** Frequency of detectable serum IgG concentrations in precolostral calves. *American journal of veterinary research*, 69(6), 791-795.
24. **Cornille, M. (2015).** Performances diagnostiques d'outils pratiques pour l'évaluation de la qualité du colostrum et du transfert d'immunité passive chez les bovins [PhD Thesis].
25. **Cortese, V. S. (2009).** Neonatal immunology. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 25(1), 221-227.
26. **Crowley, M. L., Fisher, L. J., & Owen, B. D. (1994).** Blood-derived immunoglobulins in milk replacer, or by injection, for improved performance of colostrum-deprived neonatal calves. *Animal feed science and technology*, 47(3-4), 245-257.
27. **Cruywagen, C. W. (1990).** Effect of curd forming of colostrum on absorption of immunoglobulin G in newborn calves. *Journal of dairy science*, 73(11), 3287-3290.
28. **Deelen, S. M., Ollivett, T. L., Haines, D. M., & Leslie, K. E. (2014).** Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3838-3844.

29. **Denholm, K., Haggerty, A., Mason, C., & Ellis, K. (2021).** Comparison of tests for failure of passive transfer in neonatal calf serum using total protein refractometry and the biuret method. *Preventive Veterinary Medicine*, 189, 105290.
30. **DeNise, S. K., Robison, J. D., Stott, G. H., & Armstrong, D. V. (1989).** Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers. *Journal of dairy science*, 72(2), 552-554.
31. **De Souza, R. S., Dos Santos, L. B. C., Melo, I. O., Cerqueira, D. M., Dumas, J. V., Leme, F. de O. P., Moreira, T. F., Meneses, R. M., de Carvalho, A. U., & Facury-Filho, E. J. (2021).** Current Diagnostic Methods for Assessing Transfer of Passive Immunity in Calves and Possible Improvements : A Literature Review. *Animals*, 11(10), 2963.
32. **Devery, J. E., Davis, C. L., & Larson, B. L. (1979).** Endogenous production of immunoglobulin IgG1 in newborn calves. *Journal of dairy science*, 62(11), 1814-1818.
33. **Dewell, R. D., Hungerford, L. L., Keen, J. E., Laegreid, W. W., Griffin, D. D., Rupp, G. P., & Grotelueschen, D. M. (2006).** Association of neonatal serum immunoglobulin G1 concentration with health and performance in beef calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 228(6), 914-921.
34. **Donovan, G. A., Badinga, L., Collier, R. J., Wilcox, C. J., & Braun, R. K. (1986).** Factors influencing passive transfer in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 69(3), 754-759.
35. **Donovan, G. A., Dohoo, I. R., Montgomery, D. M., & Bennett, F. L. (1998).** Associations between passive immunity and morbidity and mortality in dairy heifers in Florida, USA. *Preventive veterinary medicine*, 34(1), 31-46.
36. **El Nageh, M. M. (1967).** Siege de l'absorption intestinale des gamma globulins du colostrum. Chez le veau nouveau-ne. *Ann. Med. Vet*, 11, 380.
37. **Elizondo-Salazar, J. A., & Heinrichs, A. J. (2009).** Feeding heat-treated colostrum or unheated colostrum with two different bacterial concentrations to neonatal dairy calves. *Journal of dairy science*, 92(9), 4565-4571.
38. **El-Nageh, M. M. (1967).** Voies d'absorption des gammaglobulines du colostrum au niveau de l'intestin grêle du veau nouveau-né. *Ann. Med. Vet.*, 6, 384.
39. **Elsohaby, I., McClure, J. t., & Keefe, G. p. (2015).** Evaluation of Digital and Optical Refractometers for Assessing Failure of Transfer of Passive Immunity in Dairy Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 29(2), 721-726.
40. **Filteau, V., Bouchard, É., Fecteau, G., Dutil, L., & DuTremblay, D. (2003).** Health status and risk factors associated with failure of passive transfer of immunity in newborn beef calves in Quebec. *The Canadian Veterinary Journal*, 44(11), 907.
41. **Francisco, S. A., & Quigley, J. D. (1993).** Serum immunoglobulin concentrations after feeding maternal colostrum or maternal colostrum plus colostrum supplement to dairy calves. *American journal of veterinary research*, 54, 1051-1051.

42. **Frerking, H., & Aeikens, T. (1978).** About the importance of colostrum for the newborn calf. *Annales de Recherches vétérinaires. Annals of Veterinary Research*, 9(2), 361-365.
43. **Furman-Fratczak, K., Rzasa, A., & Stefaniak, T. (2011).** The influence of colostral immunoglobulin concentration in heifer calves' serum on their health and growth. *Journal of dairy science*, 94(11), 5536-5543.
44. **Gapper, L. W., Copestake, D. E., Otter, D. E., & Indyk, H. E. (2007).** Analysis of bovine immunoglobulin G in milk, colostrum and dietary supplements: A review. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 389(1), 93-109.
45. **Gauthray, V. (2019).** Conditions d'élevage et santé des veaux en élevage allaitant de race Charolaise [PhD Thesis].
46. **Gay, C. C. (1983).** The role of colostrum in managing calf health. *American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference*, 79-84.
47. **Gelsing, S. L., Gray, S. M., Jones, C. M., & Heinrichs, A. J. (2014).** Heat treatment of colostrum increases immunoglobulin G absorption efficiency in high-, medium-, and low-quality colostrum. *Journal of dairy science*, 97(4), 2355-2360.
48. **Godden, S. (2008).** Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 19-39.
49. **Godden, S. M., Haines, D. M., Konkol, K., & Peterson, J. (2009).** Improving passive transfer of immunoglobulins in calves. II: Interaction between feeding method and volume of colostrum fed. *Journal of dairy science*, 92(4), 1758-1764.
50. **Godden, S. M., Smolenski, D. J., Donahue, M., Oakes, J. M., Bey, R., Wells, S., Sreevatsan, S., Stabel, J., & Fetrow, J. (2012).** Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves: Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 4029-4040.
51. **Guilloteau, P., Corring, T., Garnot, P., Martin, P., Toullec, R., & Durand, G. (1983).** Effects of age and weaning on enzyme activities of abomasum and pancreas of the lamb. *Journal of dairy science*, 66(11), 2373-2385.
52. **Guilloteau, P., Corring, T., Toullec, R., Robelin, J., Beaufile, M., BouSSION, S., Flageul, H., Gueugneau, A.-M., & Lesne, M. (1984).** Enzyme potentialities of the abomasum and pancreas of the calf. I. —Effect of age in the preruminant. *Reproduction Nutrition Développement*, 24(3), 315-325.
53. **Guilloteau, P., Le Huërou-Luron, I., Le Dréan, G., Gestin, M., Philouze-Rome, V., Artiaga, A., Bernard, C., & Chayvialle, J. A. (1998).** Gut regulatory peptide levels in bovine fetuses and their dams between the 3rd and 9th months of gestation. *Neonatology*, 74(6), 430-438.
54. **Guilloteau, P., & Zabielski, R. (2005).** Digestive secretions in preruminant and ruminant calves and some aspects of their regulation. *Calf and heifer rearing: principles of rearing the modern*

dairy heifer from calf to calving. 60th University of Nottingham Easter School in Agricultural Science, Nottingham, UK. 23rd-24th March, 2004, 159-189.

55. **Güngör, Ö., Bastan, A., & Erbil, M. K. (2004).** The usefulness of the γ -glutamyltransferase activity and total proteinemia in serum for detection of the failure of immune passive transfer in neonatal calves. *Revue de médecine vétérinaire*, 155(1), 27-30.
56. **Halleran, J., Sylvester, H. J., & Foster, D. M. (2017).** Apparent efficiency of colostral immunoglobulin G absorption in Holstein heifers. *Journal of dairy science*, 100(4), 3282-3286.
57. **Hammon, H., & Blum, J. W. (1997).** Prolonged colostrum feeding enhances xylose absorption in neonatal calves. *Journal of animal science*, 75(11), 2915-2919.
58. **Hancock, D. D. (1985).** Assessing efficiency of passive immune transfer in dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 68(1), 163-183.
59. **Hernandez, D., Nydam, D. V., Godden, S. M., Bristol, L. S., Kryzer, A., Ranum, J., & 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*, 211, 82-87.
60. **Hoflack, G., Laureyns, J., Dewulf, J., Opsomer, G., & de Kruif, A. (2004).** Colostrum quality and quantity in Belgian Blue cows and the subsequent maternal immunity. Poster Abstracts 23rd World Buiatrics Congress, 1, 1-1.
61. **Hogan, I., Doherty, M., Fagan, J., Kennedy, E., Conneely, M., Brady, P., Ryan, C., & Lorenz, I. (2015).** Comparison of rapid laboratory tests for failure of passive transfer in the bovine. *Irish veterinary journal*, 68(1), 1-10.
62. **Hopkins, B. A., & Quigley III, J. D. (1997).** Effects of method of colostrum feeding and colostrum supplementation on concentrations of immunoglobulin G in the serum of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 80(5), 979-983.
63. **Husband, A. J., Brandon, M. R., & Lascelles, A. K. (1972).** Absorption and endogenous production of immunoglobulins in calves. *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science*, 50(4), 491-498.
64. **Jacques, S. (2012).** Succédanés du colostrum et transfert d'immunité passive chez le veau nouveau-né [PhD Thesis].
65. **James, R. E., Polan, C. E., & Cummins, K. A. (1981).** Influence of administered indigenous microorganisms on uptake of [iodine-125] γ -globulin in vivo by intestinal segments of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 64(1), 52-61.
66. **James R.E (2009)** Clean colostrum and Ig Absorption, VOICE Wisconsin veterinary medical association.
- 67.
68. **Jaster, E. H. (2005).** Evaluation of quality, quantity, and timing of colostrum feeding on immunoglobulin G1 absorption in Jersey calves. *Journal of dairy science*, 88(1), 296-302.

69. **Jochims, K., Kaup, F.-J., Drommer, W., & Pickel, M. (1994).** An immunoelectron microscopic investigation of colostral IgG absorption across the intestine of newborn calves. *Research in Veterinary Science*, 57(1), 75-80.
70. **Johnson, J. L., Godden, S. M., Molitor, T., Ames, T., & Hagman, D. (2007).** Effects of Feeding Heat-Treated Colostrum on Passive Transfer of Immune and Nutritional Parameters in Neonatal Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 5189-5198.
71. **Johnston, N. E., & Stewart, J. A. (1986).** The effect of glucocorticoids and prematurity on absorption of colostral immunoglobulin in the calf.
72. **Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008).** Clinical biochemistry of domestic animals. Academic press.
73. **Kersting, K. (1998).** Neonatal disease and passive transfer of immunity.
74. **Kruse, P. E. (1983).** The importance of colostral immunoglobulins and their absorption from the intestines of the newborn animals. *Annales de Recherches Vétérinaires*, 14(4), 349-353.
75. **Kryzer, A. A., Godden, S. M., & Schell, R. (2015).** Heat-treated (in single aliquot or batch) colostrum outperforms non-heat-treated colostrum in terms of quality and transfer of immunoglobulin G in neonatal Jersey calves. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1870-1877.
76. **Kühne, S., Hammon, H. M., Bruckmaier, R. M., Morel, C., Zbinden, Y., & Blum, J. W. (2000).** Growth performance, metabolic and endocrine traits, and absorptive capacity in neonatal calves fed either colostrum or milk replacer at two levels. *Journal of animal science*, 78(3), 609-620.
77. **Larson, B. L., Heary Jr, H. L., & Devery, J. E. (1980).** Immunoglobulin production and transport by the mammary gland. *Journal of Dairy Science*, 63(4), 665-671.
78. **Lateur-Rowet, H. J. M., & Breukink, H. J. (1983).** The failure of the oesophageal groove reflex, when fluids are given with an oesophageal feeder to newborn and young calves. *Veterinary Quarterly*, 5(2), 68-74.
79. **Lee, S.-H., Jaekal, J., Bae, C.-S., Chung, B.-H., Yun, S.-C., Gwak, M.-J., Noh, G.-J., & Lee, D.-H. (2008).** Enzyme-linked immunosorbent assay, single radial immunodiffusion, and indirect methods for the detection of failure of transfer of passive immunity in dairy calves. *Journal of veterinary internal medicine*, 22(1), 212-218.
80. **Levieux, D., & Ollier, A. (1999).** Bovine immunoglobulin G, β -lactoglobulin, α -lactalbumin and serum albumin in colostrum and milk during the early post partum period. *Journal of Dairy Research*, 66(3), 421-430.
81. Lightwave II / II+ WPA. (s. d.). BIOSERV. Consulté 3 août 2022, à l'adresse <https://www.bioserv.fr/instruments/spectrophotometres/spectrophotometres-pour-biologie-moleculaire/lightwave-ii-ii-wpa/>

82. **Loiseau, C. (2018).** Evaluation du transfert d'immunité passive et de la qualité du colostrum dans les lignées divergentes «Longévité» caprines de Bourges [PhD Thesis]. France. Institut Polytechnique LaSalle Beauvais (UniLaSalle), FRA.
83. **Lomba, F., Fumiere, I., Tshibangu, M., Chauvaux, G., & Bienfet, V. (1978).** Immunoglobulin transfer to calves and health problems in large bovine units (1). *Annales de recherches vétérinaires*, 9(2), 353-360.
84. **Maillard, R., & Guin, B. (2013).** Immunité colostrale chez les bovins. *Bulletin des GTV*, 71, 17-25.
85. **McAloon, C. G., Whyte, P., O'Grady, L., Lorenz, I., Green, M. G., Hogan, I., Johnson, A., & Doherty, M. L. (2016).** Relationship between selected perinatal paratuberculosis management interventions and passive transfer of immunity in dairy calves. *Veterinary Record*, 179(2), 47-47.
86. **McCoy, G. C., Meinert, J. E., & Hurley, W. L. (1994).** Quantity and frequency of colostrum feeding and IgG1 absorption in newborn calves. *J. Dairy Sci*, 77(Suppl 1), 297.
87. **McGuirk, S. M., & Collins, M. (2004).** Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 20(3), 593-603.
88. **McVicker, J. K., Rouse, G. C., Fowler, M. A., Perry, B. H., Miller, B. L., & Johnson, T. E. (2002).** Evaluation of a lateral-flow immunoassay for use in monitoring passive transfer of immunoglobulins in calves. *American journal of veterinary research*, 63(2), 247-250.
89. **Milon, A. (1986).** Ontogénèse du système immunitaire et immunité néonatale. *Bull GTV*.
90. **Moog, F. (1979).** Endocrine influences on the functional differentiation of the small intestine. *Journal of Animal Science*, 49(1), 239-249.
91. **Morin, M.-P. (2019).** Évaluation de la variabilité du transfert d'immunité passive dans les troupeaux laitiers du Québec. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/21868>
92. **Morrill, K. M., Conrad, E., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J., & Tyler, H. (2012).** Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. *Journal of dairy science*, 95(7), 3997-4005.
93. **Morrill, K. M., Polo, J., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J., & Tyler, H. (2013).** Estimate of serum immunoglobulin G concentration using refractometry with or without caprylic acid fractionation. *Journal of dairy science*, 96(7), 4535-4541.
94. **Muggli, N. E., Hohenboken, W. D., Cundiff, L. V., & Kelley, K. W. (1984).** Inheritance of maternal immunoglobulin G1 concentration by the bovine neonate. *Journal of Animal Science*, 59(1), 39-48.
95. **Murata, H., & Namioka, S. (1977).** The duration of colostrum immunoglobulin uptake by the epithelium of the small intestine of neonatal piglets. *Journal of Comparative Pathology*, 87(3), 431-439.

96. **Nocek, J. E., Braund, D. G., & Warner, R. G. (1984).** Influence of neonatal colostrum administration, immunoglobulin, and continued feeding of colostrum on calf gain, health, and serum protein. *Journal of Dairy Science*, 67(2), 319-333.
97. **Odde, K. C. (1988).** Survival of the Neonatal Calf. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 4(3), 501-508.
98. **Olson, D. P., Bull, R. C., Woodard, L. F., & Kelley, K. W. (1981).** Effects of maternal nutritional restriction and cold stress on young calves : Absorption of colostrum immunoglobulins. *American journal of veterinary research*, 42(5), 876-880.
99. **Olson, D. P., Papasian, C. J., & Ritter, R. C. (1980a).** The effects of cold stress on neonatal calves. I. Clinical condition and pathological lesions. *Canadian journal of comparative medicine*, 44(1), 11.
100. **Olson, D. P., Papasian, C. J., & Ritter, R. C. (1980b).** The effects of cold stress on neonatal calves. II. Absorption of colostrum immunoglobulins. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 44(1), 19.
101. **OMACAP, EHRHARDT, N., LOCHON, V., 2015.** Colostrum et transfert d'immunité chez les caprins. 8 p.
102. **Pare J., M.C Thurmond, I.A Gardner and J.P Picanso (1993).** Effect of birthweight, total protein, serum IgG and packed cell volume on risk of neonatal diarrhea in calves on two California dairies, *Can. J. Vet. Res.*, 57 (4) : 241-246.
103. **Parish, S. M., Tyler, J. W., Besser, T. E., Gay, C. C., & Krytenberg, D. (1997).** Prediction of serum IgG1 concentration in Holstein calves using serum gamma glutamyltransferase activity. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 11(6), 344-347.
104. **Perino, L. J., Wittum, T. E., & Ross, G. S. (1995).** Effects of various risk factors on plasma protein and serum immunoglobulin concentrations of calves at postpartum hours 10 and 24. *American Journal of Veterinary Research*, 56(9), 1144-1148.
105. **Pfeiffer, N. E., & McGuire, T. C. (1977a).** A sodium sulfite-precipitation tests for assessment of colostrum immunoglobulin transfer to calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 170(8), 809-811.
106. **Pfeiffer, N. E., McGuire, T. C., Bendel, R. B., & Weikel, J. M. (1977b).** Quantitation of bovine immunoglobulins : Comparison of single radial immunodiffusion, zinc sulfate turbidity, serum electrophoresis, and refractometer methods. *American journal of veterinary research*, 38(5), 693-698.
107. **Poppie, M. J., & McGuire, T. C. (1976).** Combined immunodeficiency with failure of colostrum immunoglobulins transfer in foals. *The Veterinary Record*, 99(3), 44-46.

108. **Porter, P. (1969).** Transfer of immunoglobulins IgG, IgA and IgM to lacteal secretions in the parturient sow and their absorption by the neonatal piglet. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure*, 181(2), 381-392.
109. **Quaile, E. (2015).** Relation entre qualité du colostrum et transfert d'immunité passive en élevages bovins allaitants et laitiers : Évaluation à partir de 250 cas [PhD Thesis].
110. **Quigley III, J. D., Martin, K. R., Dowlen, H. H., & Lamar, K. C. (1995).** Addition of soybean trypsin inhibitor to bovine colostrum : Effects on serum immunoglobulin concentrations in Jersey calves. *Journal of dairy science*, 78(4), 886-892.
111. **Quigley, J. (2001).** Calf Note #39 – Using a refractometer. 5.
112. **Quigley, J. D., Drewry, J. J., & Martin, K. R. (1998).** Estimation of Plasma Volume in Holstein and Jersey Calves. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1308-1312.
113. **Quigley, J. D., James, A. F., & Quigley, J. (2002).** Passive immunity in newborn calves. *Adv. Dairy Technol*, 273-293.
114. **Quigley, J. D., Strohbahn, R. E., Kost, C. J., & O'brien, M. M. (2001).** Formulation of colostrum supplements, colostrum replacers and acquisition of passive immunity in neonatal calves. *Journal of dairy science*, 84(9), 2059-2065.
115. **Raboisson, D., Trillat, P., & Cahuzac, C. (2016).** Failure of passive immune transfer in calves : A meta-analysis on the consequences and assessment of the economic impact. *PloS one*, 11(3), e0150452.
116. **Rajala, P., & Castrén, H. (1995).** Serum immunoglobulin concentrations and health of dairy calves in two management systems from birth to 12 weeks of age. *Journal of dairy science*, 78(12), 2737-2744.
117. **Ravary, B., & Sattler, N. (2006).** *Néonatalogie du veau*. 1 e édition. Les Editions du point vétérinaire, Rueil-Malmaison (France), 2659, 256.
118. **Robison, J. D., Stott, G. H., & DeNise, S. K. (1988).** Effects of passive immunity on growth and survival in the dairy heifer. *Journal of dairy science*, 71(5), 1283-1287.
119. **Sangild, P. T. (2003).** Uptake of colostral immunoglobulins by the compromised newborn farm animal. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 44(1), 1-18.
120. **Sangild, P. T., Holtug, K., Diernaes, L., Schmidt, M., & Skadhauge, E. (1997).** Birth and prematurity influence intestinal function in the newborn pig. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 118(2), 359-361.
121. **Sangild, P. T., Schmidt, M., & Petersen, Y. M. (2003).** The premature newborn calf : How to use steroids to improve survival? *Acta Veterinaria Scandinavica*, 44(1), 1-1.
122. **Selman, I. E., McEwan, A. D., & Fisher, E. W. (1970).** Serum immune globulin concentrations of calves left with their dams for the first two days of life. *Journal of comparative pathology*, 80(3), 419-427.

123. **Selman, I. E., McEwan, A. D., & Fisher, E. W. (1971).** Studies on Dairy Calves Allowed to Suckle their Dams at Fixed Times Post Partum. *Research in Veterinary Science*, 12(1), 1-6.
124. **Sérieys, F. (1993).** Le Colostrum de vache : Bien le connaître pour mieux l'utiliser. SmithKline Beecham.
125. **Singh, A. K., Pandita, S., Vaidya, M. M., Singh, S. V., Chandra, G., Pamoori, Z. A., Huozha, R., Pathan, M. M., Kushwaha, R., & Sharma, V. K. (2011).** BOVINE COLOSTRUM AND NEONATE IMMUNITY. *Agricultural Reviews*, 32(2).
126. **Smith, B. P. (2009).** Large Animal Internal Medicine. Mosby Elsevier. St. Louis, Missouri.
127. **Smith, T., & Little, R. B. (1922).** The significance of colostrum to the new-born calf. *The Journal of Experimental Medicine*, 36(2), 181-198.
128. **Staley, T. E., & Bush, L. J. (1985).** Receptor mechanisms of the neonatal intestine and their relationship to immunoglobulin absorption and disease. *Journal of Dairy Science*, 68(1), 184-205.
129. **Staley, T. E., Corley, L. D., Bush, L. J., & Wynn Jones, E. (1972).** The ultrastructure of neonatal calf intestine and absorption of heterologous proteins. *The Anatomical Record*, 172(3), 559-579.
130. **Stenger, A., Alves de Oliveira, L.,** Contribution à l'étude de la qualité du colostrum chez la vache: utilisation d'un réfractomètre numérique et influence de l'alimentation pendant le tarissement (PhD Thesis).
131. **Stilwell G. and R.C Carvalho (2011).** Clinical outcome of calves with failure of passive transfer as diagnosed by a commercially available IgG quick test kit, *Can. Vet. J.*, 52 (5) : 524-526.
132. **Stott, G. H., & Fellah, A. (1983).** Colostral immunoglobulin absorption linearly related to concentration for calves. *Journal of Dairy Science*, 66(6), 1319-1328.
133. **Stott, G. H., Marx, D. B., Menefee, B. E., & Nightengale, G. T. (1979).** Colostral immunoglobulin transfer in calves. IV. Effect of suckling. *Journal of dairy science*, 62(12), 1908-1913.
134. **Stott, G. H., & Reinhard, E. J. (1978).** Adrenal function and passive immunity in the dystocial calf. *Journal of dairy science*, 61(10), 1457-1461.
135. **Stott, G. H., Wiersma, F., Menefee, B. E., & Radwanski, F. R. (1976).** Influence of environment on passive immunity in calves. *Journal of dairy Science*, 59(7), 1306-1311.
136. **Tennant, B., BH, B., & RK, B. (1979).** Use of the glutaraldehyde coagulation test for detection of hypogammaglobulinemia in neonatal calves.
137. **Thivend, P., Toullec, R., & Guilloteau, P. (1980).** Digestive adaptation in the preruminant. In *Digestive physiology and metabolism in ruminants* (p. 561-585). Springer.
138. **Thompson, J. C., & Pauli, J. V. (1981).** Colostral transfer of gamma glutamyl transpeptidase in calves. *New Zealand Veterinary Journal*, 29(12), 223-226.

139. **Thornhill, J. B., Krebs, G. L., & Petzel, C. E. (2015).** Evaluation of the Brix refractometer as an on-farm tool for the detection of passive transfer of immunity in dairy calves. *Australian veterinary journal*, 93(1-2), 26-30.
140. **Trotz-Williams, L. A., Leslie, K. E., & Peregrine, A. S. (2008).** Passive immunity in Ontario dairy calves and investigation of its association with calf management practices.
141. **Tyler, J. W., Hancock, D. D., Wiksie, S. E., Holler, S. L., Gay, J. M., & Gay, C. C. (1998).** Use of serum protein concentration to predict mortality in mixed-source dairy replacement heifers. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 12(2), 79-83.
142. **Tyler, J. W., Parish, S. M., Besser, T. E., Van Metre, D. C., Barrington, G. M., & Middleton, J. R. (1999).** Detection of low serum immunoglobulin concentrations in clinically ill calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 13(1), 40-43.
143. **Uystepuyst, C., Coghe, J., Dorts, T. H., Harmegnies, N., Delsemme, M.-H., Art, T., & Lekeux, P. (2002).** Optimal timing of elective caesarean section in Belgian White and Blue breed of cattle : The calf's point of view. *The Veterinary Journal*, 163(3), 267-282.
144. **Vandeputte, S. (2019).** Contributions à l'amélioration du diagnostic et de la gestion du transfert de l'immunité colostrale chez les veaux viandeux sur le terrain.
145. **Villarroel, A., Miller, T. B., Johnson, E. D., Noyes, K. R., & Ward, J. K. (2013).** Factors affecting serum total protein and immunoglobulin G concentration in replacement dairy calves. *Advances in Dairy Research*.
146. **Waldner, C. L., & Rosengren, L. B. (2009).** Factors associated with serum immunoglobulin levels in beef calves from Alberta and Saskatchewan and association between passive transfer and health outcomes. *The Canadian Veterinary Journal*, 50(3), 275.
147. **Weaver, D. M., Tyler, J. W., VanMetre, D. C., Hostetler, D. E., & Barrington, G. M. (2000).** Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. *Journal of veterinary internal medicine*, 14(6), 569-577.
148. **Wells, S. J., Dargatz, D. A., & Ott, S. L. (1996).** Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the United States. *Preventive Veterinary Medicine*, 29(1), 9-19.
149. **Wilm, J., Costa, J. H., Neave, H. W., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2018).** Serum total protein and immunoglobulin G concentrations in neonatal dairy calves over the first 10 days of age. *Journal of dairy science*, 101(7), 6430-6436.
150. **Windeyer, M. C., Leslie, K. E., Godden, S. M., Hodgins, D. C., Lissemore, K. D., & LeBlanc, S. J. (2014).** Factors associated with morbidity, mortality, and growth of dairy heifer calves up to 3 months of age. *Preventive veterinary medicine*, 113(2), 231-240.
151. **Wilson, L. K. (1996).** Evaluation of 3 Assays for Failure of Passive Transfer in Calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 10(5), 304-307.

152. **Wittum, T. E., & Perino, L. J. (1995).** Passive immune status at postpartum hour 24 and long-term health and performance of calves. *American journal of veterinary research*, 56(9), 1149-1154.
153. **YAYA, D. O., AGBAGNAN, P., KLOTUE, J. R., ANAGO, E., & BADAROU, M. (2018).** Etude comparative de deux réactifs de dosage des protéines sériques chez les patients admis à la Clinique BONI d'Akpakpa. EPAC/UAC.
154. **ZINSOU-CLAKO, J. G., AHOUEYA, J., ANAGO, E. A., BOGNINOU, S., & MOUSSE, W. (2020).** Comparaison d'un réactif de biuret préparé au laboratoire avec deux réactifs commerciaux de dosage des protéines sériques. EPAC/UAC.

ANNEXE : Tableau de recueil des données expérimentales

N° Veau	Sexe	Race du veau	Poids (Kg)	N° Mère	N° de lactation	condition du vêlage	% Brix	Mode de la prise colostrale	Quantité du colostrum administré	Délai entre le vêlage et la prise sanguin	PT (g/L)
2728	M	FLV	50	142 (44)	4	N	33,2	Tétée naturelle	-	72h	87,7
2729	F	FLV	50	230 (45)	6	N	32	Tétée naturelle	-	72h	82,9
2734	M	FLV	49	253 (39)	3	N	25,6	Tétée naturelle	-	72h	57,5
2735	F	FLV	51	77 (43)	7	N	28,7	Tétée naturelle	-	72h	66,2
3002	F	FLV	42	2025	1	N	26,2	Tétée naturelle	-	72h	64,7
3003	F	FLV	48	100	4	N	9,1	Tétée naturelle	-	72h	43,6
3004	F	FLV	49	78	6	N	10,9	Tétée naturelle	-	72h	66,3
3005	F	FLV	50	102	3	N	10,3	Tétée naturelle	-	72h	55
3006	M	FLV	59	2028	1	D	20,8	Tétée naturelle	-	72h	58,2
3007	M	FLV	52	74	8	N	18,1	Tétée naturelle	-	72h	55,7
3008	F	FLV	45	98	4	N	10,1	Tétée naturelle	-	72h	46,5
3009	F	FLV	49	186 (44)	5	N	16,9	Tétée naturelle	-	72h	57,4
3010	F	FLV	61	84	5	N	21,7	Tétée naturelle	-	72h	60,5
3011	M	FLV	49	77	5	N	12	Tétée naturelle	-	72h	40,9
2730	F	FLV	38	46	2	D	26,4	Tétée naturelle	-	72h	67,7
2731	M	FLV	42	-	2	D	20	Tétée naturelle	-	72h	67,5
2732	M	FLV	42	2010	1	D	26,4	Tétée naturelle	-	72h	50,9

2744	F	FLV	50	-	2	N	30,7	Tétée naturelle	-	72h	73,6
2740	M	FLV	48	-	2	N	26,3	Tétée naturelle	-	72h	70,3
4121 6	M	HPN	-	4121 6	2	N	29	biberon	2L	48h	91,8
1217	F	HPN	-	1217	4	D	26,3	biberon	2L	48h	126
4021 7	M	HPN	-	4021 7	3	N	24	biberon	2L	48h	67,3
1417	F	HPN	-	1417	6	N	32,7	biberon	2L	24h	61,2
5011 16	F	HPN	-	5011 16	1	N	23,3	biberon	2L	72h	63
4011 16	M	HPN	-	4011 16	5	N	24	biberon	2L	48h	61,2
1317	M	HPR	-	1317	2	N	26,3	biberon	2L	48h	71
2417	F	MB	-	2417	1	N	29	biberon	2L	24h	58,6
3011 16	M	MB	-	3011 16	5	N	22,9	biberon	2L	48h	70
3111 6	M	MB	-	3111 6	4	N	26,3	biberon	2L	48h	65,5
2121 6	F	MB	-	2121 6	5	N	26,3	biberon	2L	48h	67,9
2011 7	F	MB	-	2011 7	2	N	24	biberon	2L	72h	62,8
2031 7	F	MB	-	2031 7	2	N	26,3	biberon	2L	24h	60
1011 7	M	HPN	-	1011 7	2	D	23,6	biberon	2L	48h	63
5117	M	HPN	-	5117	2	N	18,8	biberon	2L	24h	68,1
3417	M	HPN	-	3417	2	N	27,8	biberon	2L	24h	56,8
1121 6	F	HPN	-	1121 6	1	N	23,1	biberon	2L	24h	46
3021 7	M	HPN	-	3021 7	3	N	26,3	biberon	2L	48h	45,6
4111 6	F	HPN	-	4111 6	2	N	26	biberon	2L	24h	68,6
8011 16	M	HPN	-	8011 16	5	N	33,1	biberon	2L	48h	73,8
3121 6	F	HPN	-	3121 6	2	N	26,3	biberon	2L	48h	52,5
5012 16	F	HPN	-	5012 16	4	N	29,2	biberon	2L	48h	64,4
1010 16	F	HPN	-	1010 16	3	N	26,4	biberon	2L	48h	46,1
1011 16	M	HPN	-	1011 16	3	N	32,7	biberon	2L	48h	86,3
3916	M	HPN	-	3916	1	N	26,4	biberon	2L	48h	108
2916	M	HPN	-	2916	2	N	20	biberon	2L	48h	63,5
6916	F	HPN	-	6916	2	N	26,4	biberon	2L	48h	100
3091 6	M	HPN	-	3091 6	2	N	30,7	biberon	2L	48h	99,2
5916	M	HPN	-	5916	2	N	26,3	biberon	2L	48h	81,3

RESUME

Les veaux naissent quasi agammaglobulinémies, ils doivent donc ingérer les immunoglobulines provenant du colostrum de leur mère ; c'est le transfert de l'immunité passive (TIP). L'obtention d'un TIP adéquat chez le veau, tant pour sa santé que pour sa productivité future est d'une importance primordiale. Dans le cas où le veau n'ingère pas une quantité suffisante d'immunoglobulines colostrales, il se retrouve en situation de défaut du transfert d'immunité passive (DTIP). Les objectifs de cette étude étaient de déterminer la prévalence de TIP adéquat par le dosage sérique des protéines totales (PTS) et d'examiner les facteurs de gestion associés au DTIP chez les veaux nouveau-nés.

Des échantillons de sang (n = 48) ont été prélevés sur des veaux âgés de 1 à 3 jours de races différentes au niveau de l'exploitation. Afin de déterminer la concentration en PTS nous avons utilisé une méthode de laboratoire à l'aide d'un analyseur biochimique par la réaction de Biuret. Cette méthode fournit une mesure indirecte de la concentration d'IgG dans le sérum du veau. Dans notre étude le seuil utilisé pour est déterminer un transfert adéquat doit être supérieur à 56 g/L. La concentration moyenne en PTS était de 67.1g/L. En outre, La prévalence du TIP adéquat était de 79%.

Cependant la teneur en PTS chez le veau a été influencée par plusieurs facteurs tels que : la race du veau ainsi que la qualité et le mode de distribution du colostrum. Par contre les conditions de vêlage, le sexe et le poids du veau n'ont montré aucun effet significatif sur la concentration en PTS.

Les résultats de notre étude ont montré que la prévalence de DTIP a été faible chez les veaux qui ont consommé du colostrum de bonne qualité ainsi des veaux biberonnés, et elle est nulle pour les veaux de race Montbéliarde.

Mots clés : Veau, Bovins, Qualité immunologique, Colostrum, Transfert d'immunité passive, Protéines totales sériques, Méthode de Biuret.

ABSTRACT

Calves are born with near agammaglobulinemia, so they must ingest immunoglobulin from their mother's colostrum; this is called passive immunity transfer (PIT). Obtaining an adequate TIP in the calf, both for its health and for its future productivity, is of paramount importance. The objectives of this study were to determine the prevalence of adequate TIP by TSP assay and to examine the management factors associated with TIP in newborn calves.

Blood samples (n = 48) were collected from 1-3 day old calves of different breeds at the farm level. In order to determine the concentration of STP we used a laboratory method with a biochemical analyser by the Biuret reaction. This method provides an indirect measurement of the IgG concentration in the calf serum. In our study, the threshold used to determine adequate transfer was greater than 56 g/L. The average TSP concentration was 67.1g/L. In addition, the prevalence of adequate PIP was 79%.

However, the TSP level in the calf was influenced by several factors such as the breed of the calf as well as the quality and mode of distribution of colostrum. On the other hand, calving conditions, sex and calf weight showed no significant effect on the STP concentration.

The results of our study showed that the prevalence of DTIP was low in calves that consumed good quality colostrum as well as bottle-fed calves, and it was nil for Montbeliard calves.

Key words: Calf, Bovin, Immunological quality, Colostrum, Passive immunity transfer, Total serum protein, Biuret method.

ملخص

تولد العجول تقريباً من دون اجسام مضادة لذلك يجب أن يتلغ الغلوبولين المناعي من لباً أمهاتهم؛ هذا هو نقل المناعة المكتسبة. الحصول على نقل مناعة مكتسبة كافية للعجل، سواء من أجل صحته وإنتاجيته المستقبلية له أهمية أساسية. في حالة عدم تناول العجل كمية كافية من الغلوبولين المناعي، فإنه يجد نفسه في حالة عيب في نقل المناعة المكتسبة. تشمل أهداف هذه الدراسة في تحديد مدى انتشار مناعة مكتسبة مناسبة بواسطة قياس تركيز البروتينات المصلية الاجمالية، وفحص العوامل المرتبطة بعيب نقل المناعة المكتسبة عند العجول حديثي الولادة.

جمعت عينات دم (ن = 48) من عجول بعمر 1-3 أيام من سلالات مختلفة على مستوى المزرعة. لتحديد تركيز البروتينات المصلية الاجمالية، استخدمنا طريقة معملية باستخدام محلل كيميائي حيوي بواسطة تفاعل بيوري. هذه الطريقة لقياس غير مباشر لتركيز الغلوبولينات المناعية "ج" في مصل العجل. في دراستنا، يجب أن تكون العتبة المستخدمة لتحديد النقل المناسب للمناعة أكبر من 56 جم / لتر. متوسط تركيز البروتينات المصلية الاجمالية تقدر ب 67.1 جم / لتر. علاوة فان معدل انتشار لنقل المناسب للمناعة 79% بلمنة.

قد تأثر محتوى البروتينات المصلية الاجمالية عند العجل بعدة عوامل مثل: سلالة العجل وكذلك جودة وطريقة توزيع اللبأ. من ناحية أخرى، لم تظهر حالات الولادة والجنس ووزن العجل أي تأثير على تركيز البروتينات المصلية الكلية.

أظهرت نتائج دراستنا أن انتشار عيب نقل المناعة. كان منخفضاً عند العجول التي استهلكت اللبأ الجيد وكذلك العجول التي تُغذى بالزجاجة الرضاعة وكانت صفراً بالنسبة لعجول سلالة مونبيليارد.

الكلمات الرئيسية: عجل؛ الجودة المناعية؛ نقل المناعة المكتسبة؛ إجمالي بروتين المصل؛ طريقة بيوري

