

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2016 - Thèse n°

**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**

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 09 septembre 2016
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Alexis STENGER
Né le 01 octobre 1991
à Bitche (57)



**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2016 - Thèse n°

**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**

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 09 septembre 2016
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Alexis STENGER
Né le 01 octobre 1991
à Bitche (57)



LISTE DES ENSEIGNANTS DU CAMPUS VÉTÉRIINAIRE DE LYON

Mise à jour le 09 juin 2015

Civilité	Nom	Prénom	Unités pédagogiques	Grade
M.	ALOGNINOUIWA	Théodore	UP Pathologie du bétail	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BARTHELEMY	Anthony	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	BECKER	Claire	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	UP Equine	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	BERNY	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BERTHELET	Marie-Anne	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CADORE	Jean-Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	COMMUN	Loic	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	DESJARDINS PESSON	Isabelle	UP Equine	Maître de conférences Contractuel
Mme	DJELOUADJI	Zorée	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	GRAIN	Françoise	UP Gestion des élevages	Professeur
M.	GRANCHER	Denis	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	JUNOT	Stéphane	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	KECK	Gérard	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	KODJO	Angeli	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	LACHERETZ	Antoine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAMBERT	Véronique	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	UP Pathologie du bétail	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	UP Equine	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	UP Equine	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
M.	PEPIN	Michel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	PIN	Didier	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PONCE	Frédérique	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PORTIER	Karine	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences stagiaire
M.	ROGER	Thierry	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Serge	UP Equine	Professeur associé
Mme	SEGARD	Emilie	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	SERGENTET	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	SONET	Juliette	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences stagiaire
M.	VIGUIER	Eric	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur

Remerciements

A monsieur le Professeur Olivier CLARIS

Professeur à la faculté de médecine de Lyon

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommages respectueux.

A monsieur le Docteur Laurent ALVES DE OLIVEIRA

Maître de conférences au service d'alimentation animale

Pour m'avoir proposé ce sujet et m'avoir accompagné et guidé dans la réalisation de ce travail,
Veuillez trouver en son aboutissement l'expression de toute ma reconnaissance.

A madame le Docteur Claire BECKER

Maître de conférences au service de pathologie du bétail

Pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse,
Sincères remerciements.

A monsieur de Docteur Gilles LESOBRE

Praticien hospitalier à l'UCRA – VetAgro Sup

Pour avoir contribué à la collecte des échantillons de colostrum,
Pour votre disponibilité, votre gentillesse et votre pédagogie,
Sincères remerciements

Remerciements

A mes parents et ma sœur Marine, pour m'avoir soutenu et avoir toujours cru en moi jusqu'à l'aboutissement de mon projet.

A toute ma famille et mes amis, pour votre soutien et tous ces bons moments passés ensemble que je n'oublierai pas.

A Célia, pour m'avoir épaulé, supporté et aimé pendant toutes ces années.

Table des matières

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.	Définition – composition – rôle du colostrum chez le jeune veau.....	19
A.	Définition.....	19
1.	Physiologique.....	19
2.	Légale (Art. 2 du décret du 25 mars 1924, complété par le décret du 4 janvier 1971) 19	
3.	Pratique	19
B.	Composition du colostrum des bovins	19
1.	Nutriments	20
2.	Vitamines, minéraux et oligoéléments	21
3.	Composants à rôle immunologique.....	22
C.	Quantité de colostrum produite.....	26
D.	Colostrogenèse.....	27
E.	Transition du colostrum au lait	29
F.	Rôles du colostrum	30
1.	Rôle nutritionnel.....	30
2.	Rôle immunologique.....	31
3.	Rôle développemental	33
4.	Rôle laxatif	34
II.	Qualité du colostrum : définition – facteurs de variation – évaluation	35
A.	Définition de la qualité du colostrum	35
B.	Etat des lieux de la qualité du colostrum.....	36
C.	Facteurs de variation de la qualité du colostrum.....	36
1.	Facteurs subis	36
2.	Facteurs maîtrisables	42
D.	Influence de l'alimentation en fin de gestation sur la qualité du colostrum	45
1.	Alimentation énergétique et protéique.....	45
2.	Alimentation minérale et vitaminique.....	48
E.	Evaluation de la qualité du colostrum	50
1.	Immunodiffusion radiale simple (IDR).....	50
2.	Pèse-colostrum.....	51
3.	Réfractométrie numérique et optique	54
4.	Autres méthodes	59

III. Le transfert d'immunité passive de la mère au veau : définition – enjeux – facteurs de variation et évaluation.....	60
A. Définition du transfert d'immunité passive (TIP)	60
B. Etat des lieux du TIP et pratiques des éleveurs.....	61
1. Prévalence de l'échec du transfert d'immunité passive (FPT).....	61
2. Pratiques des éleveurs	62
C. Enjeux du transfert d'immunité et conséquences du FPT	63
1. Morbidité et mortalité des veaux.....	63
2. Effet sur les productions à long terme.....	66
D. Absorption des immunoglobulines et facteurs de variations.....	68
1. Absorption intestinale des immunoglobulines d'origine colostrale	68
2. Facteurs influençant l'absorption des immunoglobulines	69
E. Evaluation du transfert d'immunité passive – Mise en évidence d'un échec du transfert d'immunité passive	78
1. Prélèvement biologique	78
2. Immunodiffusion radiale (IDR)	79
3. La réfractométrie	79
4. Activité de la Gamma Glutamyl Transférase (GGT).....	84
5. Autres méthodes d'estimation de la concentration sérique en IgG	84
F. Bonnes pratiques du transfert d'immunité passive	85
1. Généralités	85
2. Quantité	86
3. Moment de la distribution	90
4. Qualité.....	90
5. Méthode de distribution	93
6. Conservation.....	95
G. Que faire en cas d'échec du transfert d'immunité	95
1. Mise en évidence à l'échelle du troupeau	95
2. Traitement individuel.....	97

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Evaluation expérimentale du réfractomètre numérique	99
A. Estimation de la qualité du colostrum	99
1. Introduction.....	99
2. Matériel et méthodes	100
3. Résultats.....	101
4. Discussion.....	111

5.	Conclusion	113
B.	Evaluation de la variabilité des mesures aux réfractomètres optique et numérique	115
1.	Introduction.....	115
2.	Matériel et méthode.....	115
3.	Résultats	116
4.	Discussion	120
5.	Conclusion	121
C.	Evaluation du transfert d'immunité passive	122
1.	Introduction.....	122
2.	Matériel et méthodes	122
3.	Résultats	123
4.	Discussion	129
5.	Conclusion	131
II.	Influence du type de ration en fin de tarissement sur la qualité du colostrum	132
1.	Introduction.....	132
2.	Matériel et méthode.....	132
3.	Résultats	134
4.	Discussion	139
5.	Conclusion	140

Table des annexes

Annexe 1 : Fiche de consignes à destination des éleveurs laitiers	153
Annexe 2 : Fiche de renseignement remplie par les éleveurs laitiers	154
Annexe 3 : Fiche de renseignement individuelle pour chaque échantillon de colostrum produit par une vache laitière de race Prim Holstein	155
Annexe 4 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 50 g/L – Vaches allaitantes	156
Annexe 5 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 50 g/L – Vaches laitières et allaitantes.....	157
Annexe 6 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 80 g/L – Vaches laitières.....	158
Annexe 7 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 80 g/L – Vaches laitières et allaitantes.....	159
Annexe 8 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 100 g/L – Vaches laitières.....	160
Annexe 9 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 100 g/L – Vaches laitières et allaitantes.....	161

Table des figures

Figure 1 : La concentration en IgG dans le colostrum des vaches laitières permet de qualifier sa qualité sur le plan immunologique	35
Figure 2 : Représentation de la concentration en IgG dans le colostrum en fonction du délai entre la naissance du veau et la collecte du colostrum (13 vaches Prim Holstein dont le colostrum est collecté 2, 6, 10 ou 14h <i>post partum</i> dans un quartier de la mamelle sélectionné aléatoirement) (Moore 2005)	43
Figure 3 : Courbe d'étalonnage permettant de déterminer la concentration en immunoglobulines d'un colostrum par la méthode de l'IDR (http://www3.univ-lille2.fr/immunologie/labo/Cours/DES/immunoprecipitation.pdf)	51
Figure 4 : Le développement du système immunitaire du veau <i>pre</i> et <i>post partum</i> (Chase 2008)	60
Figure 5 : Mortalité des veaux laitiers en fonction de leur statut vis-à-vis du TIP (NAHMS 1993)	64
Figure 6 : Influence du délai de distribution du colostrum sur le taux d'absorption des immunoglobulines (Quigley 2007, Lang 2008).	70
Figure 7 : Concentration sérique en IgG en fonction de l'âge lors de la prise colostrale. Chaque point correspond à la concentration sanguine en IgG 24 heures <i>post partum</i> lorsque le repas est distribué à l'âge en abscisse (Godson 2003)	71
Figure 8 : Influence de la concentration bactérienne, par l'intermédiaire du traitement thermique, sur l'AEA (A) et la qualité du transfert d'immunité passive (B). La différence de concentration bactérienne totale entre les colostrums thermisés ou non est de l'ordre de 1.5 à 2 log ₁₀ (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsing 2014 et Kryzer 2015)	74
Figure 9 : Aspect de la bordure en brosse des entérocytes de veau, infecté par un colibacille et privé de colostrum à gauche, infecté par un colibacille après un premier repas de colostrum à droite (James 2009)	75
Figure 10 : Evolution des concentrations sanguines en IgG1 après le premier repas de colostrum administré à des veaux Prim Holstein – La prise colostrale se compose de 2 repas, à la naissance et à 12h <i>post partum</i> (Morin 1997)	87
Figure 11 : Distribution de la concentration en IgG dans le colostrum des vaches Prim Holstein et Charolaise	102
Figure 12 : Représentation sous forme de nuage de points des résultats. Chaque point représente un échantillon associé à sa valeur réfractométrique et sa concentration en IgG. A : Vaches laitières – B : Vaches allaitantes – C : Vaches laitières et allaitantes	103

Figure 13 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22.8 %brix	106
Figure 14 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix	108
Figure 15 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 27 %brix	110
Figure 16 : Distribution des mesures effectuées avec le réfractomètre numérique de 3 échantillons d'un même colostrum placés à 4, 20 et 37°C	111
Figure 17 : Représentation de la distribution des mesures effectuées au réfractomètre optique pour les quatre colostrums de qualité croissante	117
Figure 18 : Représentation graphique des variances des séries de mesures sur chaque colostrum, effectuées avec un réfractomètre optique (A) et numérique (B), selon une échelle identique	119
Figure 19 : Représentation des visuels des lecteurs lors de mesure au réfractomètre optique pour les quatre colostrums testés.....	120
Figure 20 : Distribution de la concentration sérique en IgG (en g/L mesurée par IDR) pour des veaux laitiers et allaitants	124
Figure 21 : Distribution de la valeur réfractométrique des sérums des veaux laitiers et allaitants (en %Brix)	124
Figure 22 : Représentation sous forme de nuage de points des résultats dans laquelle chaque point représente un sérum associé à sa valeur réfractométrique et sa concentration en IgG	125
Figure 23 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 8.4 %brix et le point vert correspond à 8.7 %brix.....	127
Figure 24 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 9 %brix	128
Figure 25 : Distribution des valeurs réfractométriques (%brix) en fonction du fourrage distribué pendant les trois dernières semaines de tarissement	135
Figure 26 : Distribution des valeurs réfractométriques des colostrums en fonction du numéro de lactation (P1, P2 et P3 = 1 ^{ère} , 2 ^{ème} et 3 ^{ème} lactation – P4 = 4 ^{ème} lactation et plus)	137
Figure 27 : Répartition des colostrums de bonne et de mauvaise qualité (< 22,8 %brix) en fonction du numéro de lactation (P1, P2 et P3 = 1 ^{ère} , 2 ^{ème} et 3 ^{ème} lactation – P4 = 4 ^{ème} lactation et plus).....	137

Figure 28 : Distribution des valeurs réfractométriques des échantillons (%brix) en fonction de la période où a lieu la mise-bas.....138

Figure 29 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22 %brix156

Figure 30 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22.8 %brix157

Figure 31 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix158

Figure 32 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix159

Figure 33 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 26.8 %brix160

Figure 34 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 26.8 %brix161

Table des tableaux

Tableau I : Composition en immunoglobulines du colostrum bovin (Maillard 2006 et 2013, Barrington 2001)	23
Tableau II : Composition quantitative du colostrum de vache (Foley 1978, Baumrucker 1991, Quigley 1994, Levieux 1999, Blum 2000, Barrington 2001, Pavlata 2004, Kehoe 2007, Tsioulpas 2007, Enjalbert 2009, Moeini 2011, Maillard 2006 et 2013).....	26
Tableau III : Evolution de la composition des productions lactées de la vache après la parturition (Foley 1978, Maillard 2006, Tsioulpas 2007, Becker 2013)	29
Tableau IV : Synthèse des résultats de plusieurs publications étudiant l'influence d'une restriction alimentaire sur la qualité du colostrum (Halliday 1978, Delong 1979, Blecha 1981, Olson 1981, Burton 1984, Hough 1990, McGee 2006, Nowak 2012)	47
Tableau V : Coefficients de corrélation linéaire reliant la densité à la qualité du colostrum selon les publications.....	52
Tableau VI : Valeurs caractéristiques des tests permettant de différencier un colostrum à plus de 50 g/L d'IgG, d'un colostrum moins concentré à différents seuils sur le pèse-colostrum (un échantillon positif est de bonne qualité).....	53
Tableau VII : Coefficients de corrélation linéaire reliant la valeur de réfraction (%brix) à la concentration en IgG dans le colostrum (PH : Prim Holstein – VA : races allaitantes – VL : races laitières)	54
Tableau VIII : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil %brix pour la concentration de 50 g/L d'IgG. Un test est positif identifie un colostrum de bonne qualité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (PH : Prim Holstein – VA : races allaitantes – VL : races laitières – Lact. 1 = primipares)	55
Tableau IX : Comparaison des outils d'évaluation de la qualité du colostrum dont la mise en œuvre est possible sur le terrain	58
Tableau X : Influence d'un échec total du transfert d'immunité ([IgG] < 8 g/L) sur la santé des veaux allaitants (Wittum 1995).....	64
Tableau XI : Influence du transfert d'immunité passive sur les pathologies néonatales (GENN = gastro-entérite néonatale – j = jour) (Furmann-Fratczack 2011)	66
Tableau XII : Production laitière ramenée à 305j en première et deuxième lactation des vaches selon la quantité de colostrum de bonne qualité ingérée dans l'heure suivant la mise bas (Faber 2005)	67
Tableau XIII : Coefficients de corrélation linéaire reliant la concentration en PT à celle d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières).....	80

Tableau XIV : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en g/L pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif identifie échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières).....	81
Tableau XV : Coefficients de corrélation linéaire reliant le %brix à la concentration d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières)	82
Tableau XVI : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en %brix pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif identifie un échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières).....	82
Tableau XVII : Calcul de la quantité de colostrum à distribuer à un veau de 50kg dans les 12 heures en fonction de la qualité du colostrum avec un objectif de 10 g/L d'IgG pour un veau laitier et 16 g/L d'IgG pour un veau allaitant (Besser 1985, Maillard 2013)	89
Tableau XVIII : Description statistique des jeux de données pour l'IDR et la réfractométrie numérique.....	101
Tableau XIX : Corrélation linéaire entre l'IDR et la réfractométrie numérique en fonction des populations étudiées	104
Tableau XX : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches laitières	106
Tableau XXI : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques	107
Tableau XXII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches allaitantes	108
Tableau XXIII : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques	109
Tableau XXIV : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches allaitantes	109
Tableau XXV : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques	110
Tableau XXVI : Comparaison des coefficients de corrélation linéaire reliant la méthode réfractométrique à l'immunodiffusion radiale (VA = vaches allaitantes, VL = vaches laitières)	112
Tableau XXVII : Comparaison des seuils et des caractéristiques intrinsèques du test d'évaluation de la qualité du colostrum au réfractomètre numérique pour une concentration de 50 g/L d'IgG	113

Tableau XXVIII : Seuils et performances des tests d'évaluation de la qualité du colostrum pour les concentrations de 50, 80 et 100 g/L d'IgG pour les vaches laitière et allaitantes	114
Tableau XXIX : Moyenne et paramètre de distribution des séries de mesures effectuées aux réfractomètres numérique et optique par 22 lecteurs différents sur quatre colostrums de concentration en IgG croissante du colostrum 1 à 4	116
Tableau XXX : Comparaison deux à deux des variances des séries de lectures aux réfractomètres optique et numérique en utilisant le test de Bartlett. Des exposants différents au niveau des variances indiquent qu'elles sont significativement différentes. Les cases vertes correspondent aux résultats significatifs.....	118
Tableau XXXI : Description statistique des jeux de données pour l'IDR et la réfractométrie numérique réalisées sur des sérums de veaux allaitants et laitiers	123
Tableau XXXII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration sérique de 10 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches allaitantes	126
Tableau XXXIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration sérique de 16 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden	128
Tableau XXXIV : Coefficients de corrélation linéaire reliant le %brix à la concentration d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières).....	130
Tableau XXXV : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en %brix pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif met en évidence un échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières)	130
Tableau XXXVI : Seuils et performances des tests d'évaluation de la qualité du colostrum pour les concentrations de 50, 80 et 100 g/L d'IgG pour les vaches laitière et allaitantes	131
Tableau XXXVII : Description statistique des jeux de données pour les deux groupes correspondant à la ration à base d'ensilage de maïs et à la ration à base d'herbe	134
Tableau XXXVIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches allaitantes	156
Tableau XXXIX : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes	157
Tableau XL : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières	158

Tableau XLI : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes.....159

Tableau XLII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières160

Tableau XLIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes161

Liste des abréviations

IDR : Immunodiffusion radiale

g : gramme

GENN = Gastro-entérite néonatale

GMQ : Gain moyen quotidien

Ig : Immunoglobuline

IgA : Immunoglobuline A

IgAs : Dimère d'immunoglobulines A lié par la pièce sécrétoire

IgG1 : Immunoglobuline G1

IgG2 : Immunoglobuline G2

IgM : Immunoglobuline M

L : litre

MG : matière grasse

PT : Taux de protéines totales en g/L

TIP : Transfert d'immunité passive

UFC : Unité formant une colonie

Introduction

Le colostrum correspond aux sécrétions des glandes mammaires, disponibles pour le veau suite à la parturition. Il est primordial pour le jeune ruminant, qu'il consomme un repas de colostrum dans les premières heures de vie. Le colostrum permet d'acquérir des anticorps, dont le nouveau-né est dépourvu à la naissance. Ce passage d'effecteurs de l'immunité de la mère à son veau par l'intermédiaire du colostrum est nommé transfert d'immunité passive. Ce transfert colostrale, lorsqu'il n'est pas réalisé efficacement, expose le veau à un risque sanitaire élevé, notamment en ce qui concerne les pathologies néonatales (Raboisson 2016).

La qualité du colostrum est au cœur du transfert d'immunité passive. Elle correspond à la concentration en anticorps dans le colostrum. En effet, la qualité du colostrum détermine directement la quantité totale d'immunoglobulines consommée par le veau. La connaissance de la qualité d'un colostrum permet de gérer de manière la plus optimale possible la prise colostrale. Il y a donc une nécessité, pour les éleveurs, mais aussi pour les vétérinaires, de disposer d'outils permettant d'évaluer la qualité du colostrum. D'autre part, la connaissance des différents facteurs influençant la concentration en anticorps dans le colostrum permet de mettre en place des mesures pour optimiser cette dernière.

Dans un premier temps, nous nous attacherons tout particulièrement à étudier la qualité du colostrum, le transfert de l'immunité passive ainsi que leurs facteurs de variation. Nous étudierons les outils permettant de suivre ces étapes cruciales pour le nouveau-né.

Dans un deuxième temps, nous présenterons nos études expérimentales : l'évaluation d'un réfractomètre numérique dans l'estimation de la qualité du colostrum et du transfert de l'immunité passive puis l'influence de l'alimentation en fin de gestation sur la qualité du colostrum.

Etude bibliographique du colostrum, de sa qualité et du transfert d'immunité passive

I. Définition – composition – rôle du colostrum chez le jeune veau

A. Définition

1. Physiologique

Le colostrum correspond aux sécrétions accumulées dans la mamelle pendant les 6 dernières semaines de gestation. Il est essentiel pour le veau nouveau-né, en jouant principalement des rôles nutritif et immunologique. En effet, il est caractérisé par une teneur importante en protéines, et particulièrement en immunoglobulines. Ces dernières transitent vers la mamelle sous influence hormonale, dans des quantités qui atteignent les 800 à 1000g dans la dernière semaine de gestation. La colostrogenèse est interrompue par le part, et la lactation commence (Maillard 2006, Godden 2008, Maillard 2015).

2. Légale (Art. 2 du décret du 25 mars 1924, complété par le décret du 4 janvier 1971)

Le produit de la traite d'une vache pendant les 7 premiers jours suivant la mise bas est considéré comme impropre à la consommation humaine. Il correspond au colostrum sur le plan légal et le fait de l'écartier de la commercialisation s'appuie sur des raisons essentiellement technologiques. En effet, le colostrum est riche en protéines solubles, non coagulables par la pression, donc il ne peut être transformé en fromage, ou alors avec un rendement faible (Maillard 2006).

3. Pratique

Sur le plan pratique, et pour toute la suite de l'exposé, **nous définissons le colostrum comme étant le produit de la seule première traite suivant la parturition**. Dans ce travail, l'intérêt porte essentiellement sur la qualité immunologique du colostrum et les teneurs en immunoglobulines décroissent rapidement après la première traite.

B. Composition du colostrum des bovins

Le colostrum est composé d'éléments synthétisés par la glande mammaire et de constituants prélevés dans la circulation maternelle et transférés dans la mamelle (Godden 2008). La composition du colostrum est sujette à de nombreuses variations individuelles (Foley 1978, Leveux 1999, Gopal 2000).

1. Nutriments

a) Généralités – Matière sèche

Le colostrum est hautement concentré en nutriments, essentiels pour couvrir les besoins énergétiques du veau nouveau-né, du fait de son métabolisme très intense, en particulier dans ses 10 premiers jours de vie (Morill 2012). Cette richesse en nutriment est directement représentée par la matière sèche présente en grande quantité dans le colostrum : le taux de matière sèche moyen varie de 23,9 à 27,6% selon les publications (Foley 1978, Kehoe 2007, Morille 2012). Ce taux de matière sèche est considérable. En effet, le colostrum est plus de 2 fois plus riche en matière sèche que le lait (Foley 1978). Cependant, cette teneur est éminemment variable dans le colostrum selon les individus, avec des valeurs qui peuvent varier de 1.7 à 33.1% (Morill 2012). Ainsi, il existe des colostrums de faible qualité sur le plan nutritionnel, ce qui peut compromettre la santé, voire la survie du veau. Cependant, il est difficile de donner des chiffres concernant la prévalence des colostrums insuffisamment riches en nutriments.

b) Protéines, matières grasses et lactose

Les principaux nutriments présents dans le colostrum sont les protéines, la matière grasse, ainsi que les glucides, essentiellement sous forme de lactose.

Le colostrum se distingue par sa grande richesse en protéines, avec un taux moyen variant de 12.7 et 16.6% (Foley 1978, Kehoe 2007, Tsioulpas 2007, Morill 2012). La quantité de protéines dans le colostrum est environ 4 fois plus élevée que dans le lait. Les principales protéines que l'on retrouve dans le colostrum sont les globulines (gammaglobulines, bêtalactoglobulines,...), les caséines et l'albumine (essentiellement l'alphalactalbumine) dont les teneurs respectives sont de 6 à 25%, 4.8% et 0.9% (Foley 1973, Maillard 2006). Les globulines, et plus particulièrement les immunoglobulines, représentent la majorité des protéines du colostrum. Certaines autres protéines solubles sont remarquables dans le colostrum. En effet, les bêtalactoglobulines, les alphalactalbumines et l'albumine sérique bovine sont présentes respectivement à hauteur de 14.3-18, 2.04-13.82 et 1.21 g/L (Levieux 1999, Sobczuk-szul 2013). La bêtalactoglobuline est donc présente en quantité importante dans le colostrum, bien plus que dans le lait. Concernant les caséines, l'alpha caséine est la plus concentrée, suivie des bêta, gamma et kappa caséines (Sobczuk-szul 2013). Le taux de matière protéique subit de grandes variations individuelles avec des valeurs s'étalant de 2.6 à 20.5% (Morill 2012).

La teneur moyenne en matières grasses (MG) du colostrum varie de 3.55 à 6.7% selon les études (Foley 1978, Kehoe 2007, Tsioulpas 2007, Morill 2012). Les différences en fonctions des publications mettent en exergue les variations très importantes du taux de matière grasse en fonction des individus qui s'échelonnent entre 1.0 et 21.7% ce qui est considérable compte tenu de la valeur moyenne assez faible en comparaison avec cette fourchette (Foley 1978, Morill 2012). Les lipides du colostrum se composent de triglycérides, association de trois acides gras et d'une molécule de glycérol, de phospholipides et de cholestérol (Contarini,

2014). Concernant les acides gras, la composition du colostrum est différente de celle du lait. En effet, le colostrum contient moins d'acides gras saturés, en particulier d'acides gras saturés à chaînes courtes C4 à C12, au profit des acides gras à longues chaînes (>16C), et plus d'AG insaturés (Elfstrand 2002, Contarini 2014). Ceci s'expliquerait par la lipomobilisation *prépartum* du tissu adipeux et par l'altération de la microflore ruminale en *péripartum* (Elfstrand, 2002). Plus particulièrement, le colostrum est riche en acides gras oméga 6, dont l'acide linoléique, et en oméga 3 (Contarini, 2014). L'acide linoléique conjugué (CLA) est moins concentré dans le colostrum que dans le lait (Contarini 2014). La composition en acides gras du colostrum semble varier avec le rang de lactation (Contarini 2014). D'autre part, le colostrum est riche en cholestérol et en phospholipides par rapport au lait (Contarini 2014).

Contrairement aux protéines et aux lipides, les glucides sont moins concentrés dans le colostrum que dans le lait. En effet, on retrouve un taux de lactose entre 2.49 et 2.9% selon les publications (Foley 1978, Kehoe 2007, Tsioulpas 2007, Morill 2012). Cette concentration faible est à mettre en relation avec la faible quantité de lactases que l'on retrouve chez le veau en *post partum* (Kehoe 2007). Outre le lactose, les autres glucides du colostrum correspondent aux oligosaccharides et aux glycoconjugués (glycolipides et glycoprotéines) (Gopal 2000). Ils sont présents en faible quantité dans le colostrum, mais néanmoins beaucoup plus concentrés que dans le lait, dans lequel certains oligosaccharides sont complètement absents (Gopal 2000).

2. Vitamines, minéraux et oligoéléments

D'autre part, le colostrum est riche en vitamines, minéraux et oligoéléments. Ces constituants ont de nombreux rôles, surtout de cofacteur enzymatique et de stimulant du système immunitaire du nouveau-né (Foley 1978, Morill 2012).

Concernant les macroéléments (calcium – phosphore – magnésium – potassium – sodium - chlore), leur concentration est très élevée dans le colostrum, particulièrement le calcium et le phosphore, avec une teneur respective de 4.7 et 4.5 g/kg de sécrétions mammaires (Foley 1978, Becker 2013). Cette concentration élevée en calcium est liée à la forte concentration colostrale en caséine qui agit comme un transporteur (Tsioulpas 2007). Les concentrations en calcium, phosphore et magnésium dans le colostrum lors du part diminuent avec le rang de lactation et se stabilisent après la 3^{ème} lactation (Kume 1993). La distribution la plus précoce possible d'un colostrum prélevé directement après le part est essentielle pour combler les besoins en minéraux du veau nouveau-né, particulièrement pour les mères dont la parité est élevée. En effet, le rang de lactation est un facteur d'altération du statut minéral du colostrum et donc du veau.

La plupart des oligoéléments (cuivre – iode – sélénium – zinc – fer – manganèse – cobalt – molybdène) passent la barrière placentaire et certains sont stockés dans le foie du fœtus, en particulier le cuivre et le sélénium (Maillard 2006, Enjalbert 2009). Cependant, le statut en oligoéléments du veau dépend aussi beaucoup du colostrum, du fait de sa concentration

beaucoup plus importante en oligoéléments que le lait (Foley 1978, Kehoe 2007, Enjalbert 2009). Ainsi, l'apport adéquat en oligoéléments à la mère pendant la gestation, permet d'assurer les besoins du veau, que ce soit par le transfert transplacentaire ou par l'intermédiaire du colostrum (Enjalbert 2009). De même que pour les macroéléments, les concentrations en zinc, cuivre et manganèse diminuent rapidement après le vêlage dans le colostrum (Kume 1993). Les veaux laitiers sont moins sujets à des carences en oligoéléments que les veaux allaitants, du fait d'une meilleure complémentation des mères pendant la gestation (Enjalbert 2009).

Les vitamines liposolubles (A, D et E) passent très peu la barrière placentaire et les veaux en sont quasiment dépourvus à la naissance (Becker 2013). Les veaux prenant la première buvée de colostrum tardivement (12-25h *post partum*), ont une concentration plasmatique en bêta-carotène, rétinol et alpha tocophérol plus faible, pendant presque un mois, par rapport à des veaux ayant pris leur colostrum dans les 7 heures *post partum* (Kehoe 2007). La concentration colostrale en vitamines liposolubles est significativement corrélée au taux de matière grasse (Kehoe 2007).

3. Composants à rôle immunologique

a) Immunoglobulines (Ig)

La concentration en Ig dans le colostrum est très importante. L'isotype dominant est l'isotype G, et plus particulièrement les IgG1, qui représentent 97% des IgG et plus de 85% des Ig (Maillard 2006, Maillard 2013). Le colostrum est relativement pauvre en IgA et en IgM, qui représentent respectivement 5 et 7% des Ig. Des concentrations très faibles en IgE sont décrites par certains auteurs (Godden 2008).

Les concentrations en immunoglobulines et plus particulièrement en IgG présentent des variations individuelles très fortes (Godden 2008, Baumrucker 2010, Elfstrand 2002). En effet, différentes études sur les concentrations en IgG dans le colostrum bovin rapportent une plage de variation très importante pouvant s'étendre de 1.8 à 256 g/L chez la vache laitière (Godden 2008, Morrill 2012, Gulliksen 2008, Conneely 2013). Il en est de même pour les IgG1, dont la concentration varie de 9 à 166 g/L selon les études (Kehoe 2007, Baumrucker 2010). Cependant, même si les teneurs sont moindres, les autres types d'Ig sont sujets aussi à des variations individuelles. En effet, les concentrations respectives en IgG2, IgA et IgM dans le colostrum des vaches laitières varient de 2.7 – 20.6, 0.5 – 4.4 et 1.1-21.0 g/L (Kehoe 2007). La faible teneur en IgA du colostrum explique l'incapacité fœtale à mettre en place une protection immunitaire muqueuse (Maillard 2006).

Tableau I : Composition en immunoglobulines du colostrum bovin, comparaison avec le sérum et le lait (Maillard 2006 et 2013, Barrington 2001)

Concentration moyennes en Ig du sérum, du lait et du colostrum de vache (g/L)				
	IgG1	IgG2	IgM	IgA
Colostrum	20-200	2-12	5	4.5
Sérum	10	8-12	2.5	0.5
Lait	0.6	0.03-0.12	0.05	0.05

b) Leucocytes

Le colostrum contient d'importantes quantités de leucocytes. Les taux cellulaires individuels mesurés à partir du colostrum sont le reflet de cette richesse en leucocytes. Un colostrum issu d'une mamelle saine contient en moyenne 306.10^3 cellules somatiques/ml, dont la majorité correspond à des leucocytes (Bakerma 1999). Ces taux cellulaires sont parfois beaucoup plus élevés dans des colostrums issus de mamelles saines. En effet, 21% des colostrums, dont la mise en culture reste stérile, ont des taux cellulaires supérieurs à $1\ 000.10^3$ cellules/ml (Bakerma 1999).

Les leucocytes colostraux correspondent majoritairement à des macrophages (40 à 50%), des lymphocytes B et T (23%) ainsi que des polynucléaires neutrophiles (38%) (Maillard 2006, Quigley 2001, Godden 2008, Reber 2008a, Maillard 2013). Les leucocytes survivent dans le tractus intestinal du nouveau-né du fait de l'absence de protéases dans les 24 premières heures et de la présence d'un facteur anti-trypsique dans le colostrum (Quigley 2001). Une partie de ces cellules traverse intacte la barrière intestinale, au niveau des plaques de Peyer du jéjunum et de l'iléon, et gagne la circulation sanguine du veau avant de rejoindre les tissus non lymphoïdes et les organes lymphoïdes secondaires (Godden 2008, Reber 2008a). Ces leucocytes sont décelables dans la circulation sanguine du veau dès 12h après le repas de colostrum (Reber 2008a). Les leucocytes maternels sont présents dans la circulation sanguine du veau pendant 48h avec un pic à 24h après la prise colostrale (Reber 2008a, Godden 2008). Cependant, les leucocytes sont fragiles. Malgré leur survie dans le tube digestif du veau, ils sont sujets aux méthodes de stockages et aux traitements thermiques, notamment la congélation et la thermisation, qui détruisent les cellules présentes dans le colostrum (Quigley 2001, Maillard 2013).

c) Cytokines et facteurs de croissance

De nombreuses protéines bioactives sont présentes dans le colostrum, notamment des hormones, des facteurs de croissances, des cytokines et des facteurs antimicrobiens non spécifiques (lactoferrine, lysozyme, lactoperoxydase, oligosaccharides) (Godden 2008).

Les facteurs de croissances les plus concentrés dans le colostrum bovin sont l'IGF1, l'IGF2 et le TGFβ2. Ces facteurs interviennent dans la division, la différenciation et l'apoptose cellulaire ainsi que dans le développement du tractus gastro-intestinal du nouveau-né (Elfstrand, 2002).

L'IGF1 est le facteur de croissance le plus important dans le colostrum. Il est présent en grande quantité avec une concentration variant de 310 à 4615 ng/ml selon les études (Baumrucker 1994, Blum 2000, Elfstrand 2002, Kang 2007). Il est essentiellement sous forme libre (73%) et non lié à une protéine de transport (IGFBP) (Elfstrand, 2002). C'est un facteur clé du développement du tractus gastro-intestinal du veau (Godden 2008). La concentration en IGF1 dans le colostrum semble être maximale 2 semaines avant la mise-bas et les colostrums de vaches multipares sont plus concentrés que ceux des primipares (Kang 2007).

Les IGF1 et 2 possèdent des récepteurs spécifiques au niveau des cellules de la muqueuse intestinale dans l'intestin grêle et le colon (Baumrucker 1994, Bühler 1998, Blum 2000). En effet, le tissu intestinal est particulièrement sensible à ces facteurs de croissances (Baumrucker 1994, Bühler 1998). De nombreuses études portent sur les effets de l'IGF1 sur le tractus gastro-intestinal du veau nouveau-né, alors que les effets de l'IGF2 sont peu connus. Malgré les nombreux récepteurs sur les cellules de la muqueuse intestinale, l'IGF1 n'est pas absorbé par la muqueuse, même si ce dernier est présent en quantité non négligeable dans le sang du veau, vraisemblablement du fait d'une production endogène (Blum 2000, Blättler 2001). Les récepteurs à l'IGF1 se lient préférentiellement à l'IGF1, mais aussi à l'IGF2 et à l'insuline, tandis que les récepteurs à l'IGF2 ne se lient qu'à ce dernier (Baumrucker 1994). Les effets de l'IGF1 sur le tissu intestinal sont principalement étudiés par histomorphométrie et par suivi de la prolifération cellulaire (incorporation d'éléments radioactifs). Les résultats des études de supplémentation, souvent supra physiologique et prolongée, ne sont pas unanimes. Cependant, de nombreuses études compilées par Blum (2000) démontrent une stimulation de la croissance du tissu intestinal par ces facteurs de croissance, avec en particulier une stimulation des divisions cellulaires, ainsi qu'une augmentation de l'absorption des nutriments, notamment des glucides. D'autre part, un développement des enzymes de la bordure en brosse est rapporté (Godden 2008). Ces études concernent plus particulièrement l'intestin grêle. Plus précisément, la distribution d'une alimentation supplémentée en IGF1 pendant 7 jours chez des veaux nouveau-nés entraîne une augmentation de la synthèse d'ADN au niveau de la muqueuse intestinale et donc des divisions cellulaires (Baumrucker 1994, Godden 2008). D'autre part, l'administration *per os* d'IGF1 augmenterait le nombre de récepteurs spécifiques au niveau de la muqueuse intestinale (Baumrucker 1994, Blum 2000).

Concernant le statut en IGF1 du veau, malgré l'absence d'absorption intestinale de l'IGF1, le timing et la quantité de colostrum distribuée influencent la concentration plasmatique en IGF1 (Blum 2000). En effet, une distribution du colostrum retardée de 24h réduit de façon importante la concentration plasmatique en IGF1 (Blum 2000). Dans des conditions « naturelles », chez le veau allaitant, la concentration en IGF1 plasmatique augmente entre le premier et le septième jour *post partum*, alors qu'elle diminue lorsque l'alimentation est

composée de lactoreplaceur (Blum 2000). Cette diminution est nettement limitée si la prise colostrale est adéquate (Blum 2000).

Le TGF β 2 représente 85-95% des TGF du colostrum. Il est présent majoritairement sous forme inactive (90%) et nécessite une activation, notamment par un changement de pH ou un clivage enzymatique (Elfstrand, 2002). Sa concentration est elle aussi élevée dans le colostrum, environ 300 ng/ml (Elfstrand, 2002). D'autre part, sa concentration est fortement corrélée aux concentrations en IgG1 ($r=0.93$), IgA ($r=0.98$) et IgM ($r=0.98$) dans le colostrum, suggérant que ce facteur de croissance aurait une action stimulatrice sur le transfert de ces Igs vers la glande mammaire (Elfstrand, 2002).

Le facteur anti-trypsique est cent fois plus concentré dans le colostrum que dans le lait, ce qui la empêche la destruction des protéines et des cellules colostrales avant leur absorption par des phénomènes de digestion enzymatique (Quigley 2001, Godden 2008).

Concernant les facteurs antimicrobiens, la lactoferrine est la plus importante dans le colostrum avec une concentration variable de 0.82 à 2.65 mg/ml (Sobczuk-szul 2013, Kehoe 2007). Elle subit un effet important lié à la race de la vache. En effet, Sobczuk-szul et al ont montré que les vaches de race Jersey ont une concentration en lactoferrine plus importante dans le colostrum que les Prim Holstein.

De nombreuses cytokines sont présentes dans le colostrum, en particulier les IL1 β , les IL6 et le TNF α dont les concentrations varient entre 1 et 2 ng/ml (Sobczuk-szul 2013). Les cytokines interviennent essentiellement dans l'éducation du système immunitaire du veau.

Tableau II : Composition quantitative du colostrum de vache (Foley 1978, Baumrucker 1991, Quigley 1994, Levieux 1999, Blum 2000, Barrington 2001, Pavlata 2004, Kehoe 2007, Tsioulpas 2007, Enjalbert 2009, Moeini 2011, Maillard 2006 et 2013)

Composition du colostrum bovin			
Composant	Quantité	Composant	Quantité
Densité	1.056	Vitamine E (µmol/L)	15 - 25
MS (%)	23 - 28	Vitamine B1 (µg/ml)	0.58 – 0.9
MP(%)	12 - 16	Vitamine B2 (µg/ml)	4.55 – 4.83
MG(%)	3 - 7	Vitamine B3 (µg/ml)	0.34 – 0.97
Lactose (%)	2 - 3	Vitamine B5 (µg/ml)	1.73
MM (%)	0.5 - 2	Vitamine B6 (µg/ml)	0.04
Caséine (%)	4.8	Vitamine B8 (µg/L)	10 - 27
Albumine (%)	0.9	Vitamine B9 (µg/L)	8
Ig (g/L)	2 - 250	Vitamine B12 (µg/L)	49
IgG1 (g/L)	2 - 200	Vitamine C (mg/L)	25
IgG2 (g/L)	2 - 12	Rétinol (µg/g)	4.9
IgA (g/L)	1 – 4.5	Bêta-carotène (µg/g)	0.68
IgM (g/L)	1 - 6	Niacine PP (µg/ml)	0.34
Ca (g/kg)	4.7	Lactoferrine (g/L)	0.82 – 1.84
P (g/kg)	4.5	Bétalactoglobuline (g/L)	14.3
Na (g/kg)	1.1	Alpha lactalbumine (g/L)	2.04
K (g/kg)	2.8	IGF I (µg/ml)	310 - 870
Mg (g/kg)	0.7	IGF II (µg/ml)	150 - 400
Cl (%)	0.12	Insuline (µg/L)	65
S (g/kg)	2.6	Glucagon (µg/L)	0.16
Se (µg/L)	29 - 155	GH (µg/L)	1.4
Zn (mg/kg)	38	Prolactine (µg/L)	280
Mn (mg/kg)	0.1 - 0.2	GGT (UI/L)	509
Fe (mg/kg)	2 - 5.3	PAL (UI/L)	19
Cu (mg/kg)	0.34 - 0.6	AsAT (UI/L)	1.5
Co (µg/kg)	5		
Vitamine A (mg/L)	2.95		
Vitamine D (UI/g MG)	0.89 – 1.81		

c. Quantité de colostrum produite

La quantité de colostrum produite est d'importance capitale pour le transfert de l'immunité passive de la mère au veau. En effet, la quantité de colostrum bu lors de la première traite, à concentration en matière utile fixe, conditionne la quantité d'immunoglobulines et de nutriments disponibles pour le veau. Ainsi, même si le colostrum est riche, disponible en quantité insuffisante, il peut conduire à un échec du transfert de l'immunité passive.

Concernant les vaches laitières, la quantité moyenne de colostrum produit par différentes races de vaches laitières (Prim Holstein (PH), Jersiaise, Montbéliarde, Rouge Norvégienne) varie de 6.1 à 8.5 kg (Pritchett 1991, Chigerwe 2008, Kehoe 2011, Conneely 2013).

La quantité de colostrum produite est très variable entre les individus, avec des variations allant de 0.1 à 24 kg (Levieux 1999, Conneely 2013, Kehoe 2011, Kessler 2014). En effet, 42% des vaches de race PH produisent moins de 4L de colostrum lors de la première traite alors que 22% d'entre elles produisent plus de 10L de colostrum (Levieux, 1999). De nombreux facteurs affectent ce paramètre, notamment la race, la parité, le délai entre la mise bas et la traite ou encore le poids du veau à la naissance (Levieux 1999, Conneely 2013). En première lactation, les vaches Prim Holstein produisent significativement moins de colostrum (3.3kg en moyenne) que les vaches dont le rang de lactation est plus élevé (8.1 kg en moyenne) (Levieux, 1999).

Peu de données sont disponibles pour les vaches allaitantes puisqu'elles sont rarement traitées en collectant l'intégralité de la production des quatre quartiers. Des vaches croisées limousines produisent entre 2.5 et 4.5 litres de colostrum lors de la première traite (McGee 2006).

D. Colostrogénèse

La colostrogénèse correspond à la synthèse du colostrum, par accumulation de ses différents composants dans la mamelle. Sur le plan immunologique, la colostrogénèse est définie comme le transfert d'immunoglobulines, depuis la circulation maternelle vers les sécrétions mammaires, débutant plusieurs semaines avant le part (jusqu'à 6 semaines) et se terminant brutalement lors de la mise bas (Barrington 2001, Maillard 2006). En effet, la grande majorité des immunoglobulines transitent de la circulation maternelle au colostrum par la voie transcellulaire, par transcytose à travers les cellules épithéliales mammaires. Cette transcytose se fait grâce à des récepteurs spécifiques des fragments constants des IgG, les récepteurs RnFc (Stelwagen 2009, Barrington 2001, Baumrucker 2010). Ces derniers fixent les IgG1. Le complexe récepteur – IgG1, sur la membrane baso-latérale des cellules épithéliales mammaires, est endocyté avant que l'immunoglobuline ne soit relarguée du côté apical de la cellule dans les sécrétions mammaires (Barrington 2001, Godden 2008).

Contrairement aux IgG, les IgA et les IgM sont produites localement, directement dans la glande mammaire par des plasmocytes (Stelwagen 2009, Godden 2008).

Les IgG1 semblent être les seules à être transférées dans la glande mammaire par l'intermédiaire des récepteurs FcRn par transcytose (Baumrucker 2010). En effet, on constate un transfert très sélectif des IgG1 du sang vers le colostrum. Les concentrations en IgG1 et IgG2 sont voisines dans le sang des mères (environ 12 g/L) alors que les IgG1 sont 5 à 100 fois plus concentrées dans le colostrum (Barrington 2001, Baumrucker 2010).

Il existe des différences dans la cinétique de transfert des IgG vers le colostrum entre les vaches allaitante et laitières (Guy 1994). En effet, on observe une augmentation de la concentration en IgG1 chez les laitières entre 45 et 10 jours *pre partum* alors qu'elle est constante chez les allaitantes (Guy 1994). De 10 jours *pre partum* au part, la concentration baisse dans les deux types raciaux mais dans des proportions plus importantes chez les laitières, vraisemblablement du fait d'une dilution (Guy 1994).

Le transfert des IgG vers le colostrum s'accompagne d'une diminution de la concentration de ces dernières dans le sérum des mères (Guy 1994, Herr 2011). En effet, on observe une corrélation significative ($r=0.56$) entre la [IgG] dans le colostrum et la diminution de la [IgG] dans le sang de la mère. Chez cette dernière, on observe une diminution significative de cette concentration pendant les 8 semaines qui précèdent le part (Herr 2011). Il semble exister des différences entre les vaches allaitantes et laitières, chez lesquelles la diminution de la concentration en IgG1 dans le sérum est plus importante et plus précoce (Guy 1994).

Les concentrations en Ig dans le colostrum dépendent de la dilution de ces dernières par les constituants du lait, surtout après le part où la mère se trouve déjà en période de transition (Guy 1994, Baumrucker 2010). Ainsi, seule la quantité (ou masse) totale d'IgG1 dans le colostrum (lors de la première traite) reflète la capacité de transfert d'IgG1 vers la mamelle d'un animal (Baumrucker 2010). Elle se calcule simplement, en multipliant la concentration en Ig par la quantité totale de colostrum collectée lors de la première traite. Cette quantité totale d'IgG1 dépend à la fois de la capacité de concentration individuelle de l'animal et du volume de colostrum produit (Baumrucker 2010). Elle présente d'importantes variations individuelles, s'étendant de 14 à 2223g (Baumrucker 2010). Ainsi, malgré les concentrations plus importantes en Ig que l'on retrouve chez les vaches allaitantes, la quantité d'IgG1 transférée par les vaches laitières est beaucoup plus importante du fait de la quantité élevée de colostrum produite (Guy 1994). Les variations individuelles de la capacité de transfert des IgG1 ne sont pas dues à la masse de tissu mammaire sécrétoire, du fait de l'absence de corrélation avec la quantité totale d'IgG1 dans le colostrum (Baumrucker 2010). Baumrucker (2010) avance des hypothèses génétiques et/ou endocrinologiques pour expliquer ces variations individuelles.

Le contrôle de la colostrogenèse est endocrinologique. Elle est initiée par l'augmentation de la concentration sanguine en œstrogènes et la chute de la concentration en progestérone (Barrington 2001, Baumrucker 2010). En effet, une augmentation de la concentration sanguine en œstrogènes environ un mois avant le part et une diminution légère de celle de progestérone environ 2-3 semaines *pre partum* (Barrington 2001) est observée chez la vache. Ainsi, c'est la diminution du rapport progestérone/œstrogènes qui initie le transfert des IgG vers le colostrum. Certains auteurs suggèrent une intervention de la l'hormone de croissance GH (Barrington 2001). La colostrogenèse est terminée par l'augmentation de la concentration sanguine en prolactine et en glucocorticoïdes lors du part (Barrington 2001, Baumrucker 2010).

E. Transition du colostrum au lait

Le lait de transition correspond aux productions lactées de la vache à partir de la deuxième traite jusqu'à ce qu'elles soient commercialisables au bout de 7 jours. Au fil des traites, la composition du colostrum se rapproche de plus en plus de celle du lait (Tableau III). On peut considérer qu'à partir de la sixième traite, la composition du lait de transition est proche du lait standard.

Tableau III : Evolution de la composition des productions lactées de la vache après la parturition (Foley 1978, Maillard 2006, Tsioulpas 2007, Becker 2013)

	Traites <i>post partum</i>					Jours <i>post partum</i>					LAIT
	Colostrum	2	3	4	5	5	15	30	60	90	
Densité	1.056	1.040	1.035	1.033	1.033						1.032
pH	6.32	6.32	6.33	6.34	6.33	6.49	6.58	6.64	6.71	6.70	6.70
MS (%)	23.9	17.9	14.1	13.9	13.6						12.9
PT (%)	14	8.4	5.1	4.2	4.1	4.23	4.01	3.08	2.94	3.20	3.1
Ig (%)	6	4.2	2.4								0.09
MG (%)	6.7	5.3	3.9	4.4	4.3	3.89	3.66	3.72	3.95	3.51	3.51
Lactose (%)	2.7	3.9	4.4	4.6	4.7	4.15	4.32	4.54	4.61	4.70	5
CB (%)	1.11	0.95	0.87	0.82	0.81	0.87	0.83	0.80	0.76	0.79	0.74
Ca (%)	0.26	0.15	0.15	0.15	0.15						0.13
Mg (%)	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01						0.01
K (%)	0.14	0.13	0.14	0.15	0.14						0.15
Na (%)	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05						0.04

Mis à part le lactose et le potassium, tous les constituants du colostrum sont plus concentrés dans ce dernier que dans le lait. Dans la transition du colostrum au lait, leur concentration diminue plus ou moins rapidement.

La concentration en IgG diminue rapidement au fil des traites (Foley 1978, Maillard 2013). La chute de la concentration en IgG la plus sévère a lieu entre la première et la deuxième traite, avec une diminution allant de 20 à 70% (Foley 1978, Maillard 2013). Lors de la sixième traite, on peut espérer obtenir une concentration correspondant à 8% de la concentration initiale (Maillard 2013). Ceci explique pourquoi seul le produit de la première traite *post partum* est appelé colostrum et est intéressant sur le plan immunologique, pour le transfert de l'immunité passive.

Concernant les nutriments, le taux de matière protéique diminue d'abord rapidement puis plus progressivement pour atteindre la teneur normale du lait en 30 jours (Foley 1978, Tsioulpas 2007). Le taux de matières grasses quant à lui diminue plus progressivement (Foley 1978, Tsioulpas 2007). La concentration en lactose augmente pour atteindre son niveau normal dans le lait en 60 jours (Tsioulpas 2007). Les concentrations normales du lait sont atteintes en plusieurs semaines, mais les variations importantes ont lieu au cours de premières traites.

Les concentrations en macroéléments (calcium – phosphore – magnésium – sodium) chutent très rapidement dans le colostrum, avec une diminution significative observée *24h post partum*, alors que la concentration en potassium est assez stable pendant la période de transition du colostrum au lait avec une tendance à l'augmentation (Foley 1978, Kume 1993, Tsioulpas 2007).

Le taux cellulaire individuel diminue aussi dans cette période de transition, en passant de 300 000 à 42 000 cellules/ml au bout de 6 traites (Bakerma 1999). Cependant, même si cette diminution des taux cellulaires est observée dans des glandes mammaires infectées, elle est moindre, en particulier lorsque des pathogènes majeurs (*S. aureus*, *E. coli*, *S. uberis*) sont isolés lors de la mise en culture (Bakerma 1999).

F. Rôles du colostrum

1. Rôle nutritionnel

a) Substrat énergétique et thermorégulation

Comme décrit précédemment, le colostrum bovin est particulièrement riche en protéines et en matières grasses, mais assez peu concentré en glucides, notamment en lactose. Ceci explique que les veaux nourris avec du colostrum de première traite pendant 6 repas (3 jours) maintiennent leur poids au bout de 8 jours *post partum*, alors que ceux nourris avec du lactoreplaceur ou du lait maternel en perdent (Blättler 2001).

La richesse en nutriment du colostrum est à confronter avec les faibles réserves énergétiques du veau à la naissance. En effet, les veaux naissent avec des réserves en graisses (380-600g) et en glycogène (180g) très faibles et ces dernières ont essentiellement un rôle structural (Morill 2012). Ceci explique que l'hypothermie est une des défaillances métaboliques majeures conduisant à la mort du très jeune veau dans les premiers jours suivant la naissance (Reisdorfer 2014).

Le colostrum constitue donc un substrat énergétique indispensable au veau nouveau-né, en particulier en termes de thermorégulation et d'homéostasie de la glycémie. Le lactose et les lipides tout particulièrement, permettent d'assurer la thermogénèse et l'homéothermie chez le nouveau-né en servant de substrat énergétique (Quigley 2004, Godden 2008, Contarini 2014). Les protéines du colostrum peuvent aussi être une source de substrat énergétique (Morill, 2012). En effet, du fait de la faible quantité de lactose dans le colostrum et de la nécessité de glucides pour la thermogénèse, le veau peut utiliser les protéines colostrales pour l'homéostasie thermique par l'intermédiaire de la néoglucogénèse (Quigley, 2008). De même, dans une moindre mesure, les acides gras par leur oxydation représentent un soutien pour la glycogénèse (Contarini 2014). Cependant, les protéines du colostrum sont surtout une source d'acides aminés, indispensable au métabolisme et au développement musculaire du veau (Morill, 2012). En effet, les bêtalactoglobulines et les alphalactalbumines sont des sources

importantes d'acides aminés, avec notamment les bêtalactoglobulines qui sont riches en cystéine, un acide aminé soufré indispensable (Levieux, 1999).

b) Statut vitaminique et minéral du veau

Tout comme pour les nutriments à rôle énergétique, le colostrum est très riche en vitamines hydrosolubles (surtout vitamines B), liposolubles (A, D, E) et en minéraux (Foley 1978). Ceci permet d'assurer le statut vitaminique et minéral du veau nouveau-né.

Le colostrum est la principale source de minéraux et d'oligoéléments pour le veau (Kume 1993). Ces apports couvrent les besoins du nouveau-né en calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium et en zinc si la prise colostrale est adéquate (Kume 1993). Cependant, le colostrum ne couvre pas les besoins en fer, cuivre et manganèse qui sont partiellement assurés par un passage transplacentaire, même si le veau reste carencé en fer de façon durable du fait des faibles teneurs du colostrum et du lait et du passage transplacentaire très limité (Kume 1993).

Il est important de souligner l'importance des apports en oligoéléments, qui sont particulièrement concentrés dans le colostrum. En effet, les carences en oligoéléments peuvent avoir un impact important sur la santé du veau. Une étude réalisée en France et en Belgique par Enjalbert (2009) rapporte une corrélation forte entre un statut carenciel du troupeau en cuivre, zinc et surtout en sélénium, et des pathologies néonatales comme de la mortalité, les diarrhées et des échecs vaccinaux. Mis à part les pathologies spécifiques comme la myopathie-dyspnée ou l'insuffisance thyroïdienne (goître) due à des carences importantes, les déficiences en oligoéléments chez le veau sont responsables de troubles non spécifiques avec des retards de croissances et des déficits immunitaires (Enjalbert 2009).

2. Rôle immunologique

Le rôle immunologique du colostrum est primordial chez les ruminants et différencie de façon majeure le colostrum du lait sur le plan fonctionnel.

a) Humoral

Tout d'abord, le colostrum est le support du transfert de l'immunité passive de la mère au veau. Ce transfert passif est classiquement considéré comme étant un transfert humoral, c'est-à-dire d'immunoglobulines. Il est conditionné par les capacités de la mère à concentrer des immunoglobulines dans son colostrum et à celles du veau à les absorber au niveau intestinal. Ainsi, le veau qui naît agammaglobulinémique, peut se doter d'une immunité humorale par l'intermédiaire des anticorps maternels qui se retrouvent au niveau de sa circulation sanguine. Cette immunité étant passive, elle est dirigée uniquement contre les agents pathogènes contre lesquels la mère a été immunisée au préalable. Elle est constituée principalement d'IgG1, qui est l'isotype majoritaire dans le colostrum.

Le colostrum permet donc l'acquisition d'une immunité humorale systémique chez le veau nouveau-né. Cependant, l'immunité locale n'est pas en reste. En effet, le colostrum permet la mise en place d'une immunité locale, surtout intestinale. Chez les adultes, l'immunité humorale des muqueuses est assurée par les IgAs. Cependant, elles ne sont présentes qu'en faible quantité dans le colostrum. Ce sont donc les IgG, plus particulièrement les IgG1, qui sont responsables de cette protection immunitaire (Quigley 2004). Elle se met en place de deux façons. D'une part, les immunoglobulines ingérées par le veau tapissent la muqueuse intestinale et peuvent agir localement en se fixant aux épitopes contre lesquels elles sont dirigées (Quigley 2004). Par cette voie, les anticorps sont efficaces même une fois que les immunoglobulines ne sont plus absorbées par la muqueuse intestinale (Quigley 2004, Godden 2008). D'autre part, il existe un phénomène de transcytose inverse au niveau de la muqueuse intestinale, par lequel des IgG dans la circulation sanguine sont secrétées dans la lumière intestinale pour y assurer un rôle local (Quigley 2004, Maillard 2013). Ce phénomène est présent aussi, dans une moindre mesure, sur les muqueuses respiratoires (Maillard 2013).

b) Cellulaire

Plus récemment, les chercheurs ont mis en évidence un certain degré d' « immunité cellulaire » conférée par les nombreux leucocytes présents dans le colostrum. Ils survivent dans le tractus gastro-intestinal du veau après le repas de colostrum et sont absorbés. Ils se retrouvent dans la circulation sanguine et y restent pendant environ 48h (Reber 2008 a et b). Les leucocytes d'origine maternelle interviennent dans le développement du système immunitaire du nouveau-né (Reber 2008, Godden 2008, Maillard 2013). En effet, la prise colostrale n'affecte pas seulement l'immunité humorale du veau mais aussi l'immunité cellulaire par l'intermédiaire des leucocytes maternels et des cytokines dans le colostrum (Reber 2008 a et b). Tout d'abord, ces leucocytes stimulent l'immunité non spécifique en augmentant les capacités de phagocytose (Godden 2008). D'autre part, ces leucocytes permettent la maturation du système immunitaire, tout particulièrement des cellules mononuclées du sang, les monocytes et les lymphocytes (Reber 2008, Maillard 2013). En effet, on observe un degré de maturité plus important de ces dernières, avec notamment une densité d'expression plus importante du CMH1 et des capacités de présentation antigénique accrues, permettant une stimulation plus efficace de la réponse immunitaire (Reber 2008 a et b). Cette stimulation plus efficace et aussi plus précoce et durable chez des veaux ayant eu un colostrum contenant des leucocytes, avec des capacités de stimulation de l'immunité adaptative dès 24h après le repas de colostrum (Reber 2008a). D'autre part, les leucocytes colostraux permettent de transmettre au veau la capacité de mettre en place une réponse immunitaire à médiation cellulaire spécifique d'un antigène contre lequel la mère a été préalablement immunisée (exemple du virus de la BVD) (Donovan 2007). On observe moins de marqueurs de « stress physiologique » (surtout CD11a) à la surfaces des cellules mononuclées du sang chez les veaux ayant pris du colostrum contenant des leucocytes de leur mère par rapport à des veaux ayant pris un colostrum dépourvu de cellules, chez lesquels l'immaturation importante du système immunitaire pourrait constituer le signal de stress (Reber

2008 a et b). Enfin, il semble que les effets bénéfiques des leucocytes maternels sur le système immunitaire du veau ne soient possibles uniquement s'il consomme le colostrum provenant de sa propre mère (Woolums 2010).

c) Substances antimicrobiennes

Enfin, certains composants inertes du colostrum peuvent jouer un rôle de protection du veau ou de stimulation du système immunitaire. Tout d'abord, les vitamines liposolubles et les oligoéléments jouent un rôle important dans la mise en place du système immunitaire du veau (Enjalbert 2009, Woolums 2010). On peut citer le sélénium qui est l'oligoélément le plus important, dont les effets seront approfondis plus loin. Il stimule les défenses immunitaires du veau et augmente l'absorption des immunoglobulines au niveau de l'intestin (Enjalbert 2009). L'alphalactalbumine aurait un rôle dans la mise en place du système immunitaire du veau (Quigley, 2008). Certains glucides du colostrum, les oligosaccharides, n'ont pas de rôle énergétique car ils ne sont ni absorbés, ni digérés (Gopal 2000). Ces derniers, par comparaison avec l'homme, pourraient contribuer à la défense du nouveau-né contre les agents pathogènes. En effet, ils pourraient jouer un double rôle de prébiotique pour la flore commensale du tube digestif et d'inhibiteur compétitif de l'adhésion des agents pathogènes (bactéries et virus) aux cellules épithéliales de la muqueuse intestinale (Gopal 2000). La sphingomyéline, un phospholipide, et certains résidus de dégradation des triglycérides ont un rôle antimicrobien, intervenant dans la protection contre les infections bactériennes gastro-intestinales (Contarini, 2014). Aussi, le colostrum contient-il des facteurs antimicrobiens non spécifiques qui participent à l'immunité, surtout au niveau de l'intestin. Il s'agit de la lactoferrine, la lactoperoxydase et le lysozyme (Sobczuk-szul 2013, Maillard 2006).

3. Rôle développemental

De nombreuses études traitent de l'influence du colostrum sur le tractus gastro-intestinal du veau. Il a été démontré que le colostrum stimule la croissance de la muqueuse intestinale et ainsi les capacités d'absorption intestinales (Bühler 1998, Blum 2000, Blättler 2001). En effet, des études histomorphométriques sur des veaux de 8 jours ont mises en évidence que la taille, la surface et la circonférence des villosités intestinales sont significativement supérieures lorsque chez des veaux nourris avec du colostrum par rapport à des veaux nourris uniquement avec du lactoreplaceur pendant les premiers jours de vie (Bühler 1998, Blättler 2001). Cet effet trophique du colostrum sur la muqueuse intestinale est particulièrement présent au niveau du duodénum (Bühler 1998, Blättler 2001), vraisemblablement du fait de sa position proximale. Ainsi, les différents constituants du colostrum y parviennent en concentration élevée et peu dégradé par des processus de digestion. Cependant, se pose la question de la durée d'administration de lait maternel (colostrum puis de lait de transition, c'est-à-dire les 7 premiers jours *post partum*) pour observer ces effets. Il semblerait que 6 repas de lait maternel (3 jours) soient nécessaires pour que la croissance de la muqueuse soit significative, même si une tendance est observée chez des veaux n'ayant eu que le premier repas de colostrum (Baumrucker 1994, Bühler 1998). La maximisation de la prise colostrale (6 repas de

colostrum de première traite) entraîne une croissance significativement plus importante des villosités intestinales (Blättler 2001).

Concernant les divisions cellulaires au niveau de la muqueuse, elles tendent à être plus importantes chez des veaux nourris avec plusieurs repas de lait maternel (4-6 repas) par rapport à des veaux nourris avec du lactoremplacé, en particulier au niveau du duodénum mais aussi de l'iléon (Baumrucker 1994, Blättler 2001). La maximisation de la prise colostrale décrite ci-dessus, entraîne une diminution de la prolifération cellulaire par rapport à des veaux nourris avec du lait maternel, mais avec une densité cellulaire au niveau des cryptes identique, ce qui suggère une survie cellulaire plus longue et donc une diminution du turn-over des cellules de la muqueuse intestinale (Blättler 2001).

Ces effets trophiques du colostrum sur le tractus gastro-intestinal s'expliquent par la teneur particulièrement élevée du colostrum en facteurs de croissance, dont la concentration diminue au cours des traites mais reste élevée dans le lait de transition. Ce dernier point explique que la croissance de la muqueuse soit davantage stimulée lors d'une distribution prolongée de lait maternel. Le facteur de croissance le plus important est l'IGF1. Ses effets sur la muqueuse intestinale sont du même type que ceux du colostrum, lorsqu'il est administré seul.

Outre le rôle de substrat énergétique, les lipides du colostrum jouent un rôle structural et développemental chez le veau. Les Acides Gras (AG) ω 3, les phospholipides et le cholestérol interviennent dans le développement de l'encéphale du nouveau-né, entrant notamment dans la constitution des membranes cellulaires (Contarini, 2014). De plus, les AG ω 3 soutiennent le développement de la rétine (Contarini 2014).

4. Rôle laxatif

Le colostrum a un important effet laxatif. Suite à la prise colostrale, les contractions des anses intestinales sont favorisées, facilitant ainsi l'expulsion du méconium (Bruyère 2015).

II. Qualité du colostrum : définition – facteurs de variation – évaluation

A. Définition de la qualité du colostrum

La qualité du colostrum est une des pierres angulaires du transfert de l'immunité passive (TIP) de la vache au veau. En effet, elle conditionne la quantité d'immunoglobulines apportée au veau, qui constitue le pool de départ à partir duquel l'absorption intestinale peut avoir lieu.

La définition communément admise, la plus simple aussi, de la qualité du colostrum fait référence à sa concentration en Ig, plus particulièrement en IgG. Cette concentration est facilement mesurable et a un impact majeur sur la santé du veau nouveau-né. On considère qu'un colostrum est de qualité suffisante pour permettre un TIP adéquat, lorsque **la concentration en IgG est supérieure à 50 g/L** (Godden 2008, Gulliksen 2008, Kehoe 2011, Morill 2012, Becker 2013, Conneely 2013). Cette valeur seuil est retrouvée dans quasiment tous les articles traitant de la qualité du colostrum. Cependant, elle correspond à la valeur seuil chez les vaches laitières, sur lesquelles porte la majorité des études, et non chez les vaches allaitantes. D'autre part, cette valeur seuil n'est en aucun cas un objectif à atteindre mais un minimum pour espérer fournir au veau une immunité suffisante. On évoque des concentrations de 80g/L, voire de 100 g/L d'IgG pour pouvoir qualifier un colostrum comme étant d'excellente qualité chez la vache laitière et ainsi constituer un objectif de qualité. Peu d'études traitent de la qualité du colostrum des vaches allaitantes et ainsi aucune valeur seuil minimale de concentration en IgG n'est retenue par la communauté scientifique. Cependant, le colostrum se doit d'être de meilleure qualité en élevage allaitant. Effectivement, les veaux allaitants sont plus lourds et vivent dans un environnement où la charge microbienne est plus importante que pour des veaux laitiers puisqu'ils ne sont pas séparés de leur mère et évoluent au sein du troupeau, particulièrement pendant la saison hivernale. De plus, la quantité de colostrum produite est moindre pour les vaches de type racial allaitant.

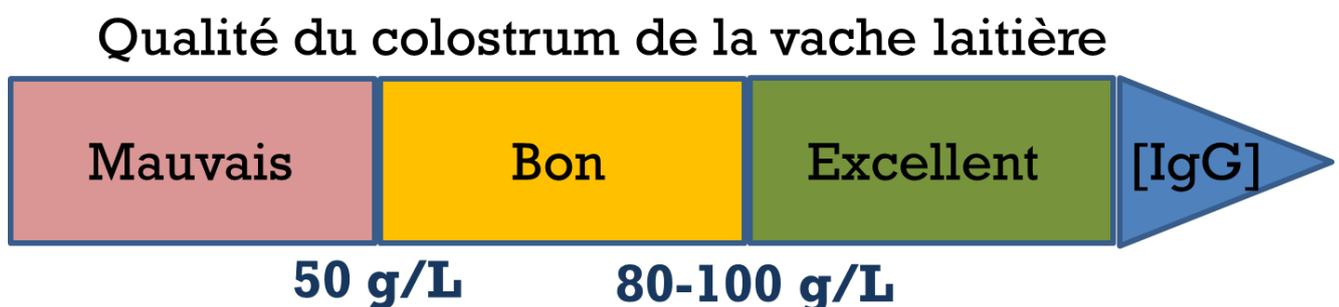


Figure 1 : La concentration en IgG dans le colostrum des vaches laitières permet de qualifier sa qualité sur le plan immunologique

Outre la concentration en IgG, d'autres composants, à rôle nutritif ou immunologique, pourraient être considérés pour définir la qualité d'un colostrum. Ces derniers sont plus difficiles à doser, malgré leurs propriétés fonctionnelles. L'importance de la contamination

bactérienne peut aussi être prise en compte. En effet, Morill (2012) propose d'ajouter le comptage de la flore bactérienne totale à la concentration en IgG pour définir la qualité d'un colostrum. Ainsi, un colostrum de bonne qualité doit contenir moins de 100 000 UFC/ml. Une charge bactérienne élevée dans un colostrum diminue l'absorption des immunoglobulines à travers la muqueuse intestinale et ces bactéries sont potentiellement pathogènes. Cette définition de la qualité du colostrum implique l'éleveur et ses pratiques dans la qualité du colostrum, puisque la contamination de ce dernier a lieu au cours de la première traite.

B. Etat des lieux de la qualité du colostrum

Les colostrums de vaches laitières ont des concentrations moyennes en IgG qui varient de 32 à 112 g/L selon les études (Foley 1978, Guy 1994, Kehoe 2007, Baumrucker 2010, Biemann 2010, Morill 2012, Conneely 2013, Quigley 2013). Il existe d'importantes variations individuelles, même au sein d'une race, avec une plage de variation qui s'étend de 1.8 à 256 g/L chez la vache laitière (Godden 2008, Biemann 2010, Gulliksen 2008, Morrill 2012, Conneely 2013). Ainsi, de nombreux colostrums sont de mauvaise qualité puisque leur concentration en IgG ne dépasse pas 50g/L. En effet, selon les études, 4 à 57.8% des colostrums sont de mauvaise qualité et donc susceptibles d'entraîner un échec du TIP (Gulliksen 2008, Biemann 2010, Morill 2012, Guatteo 2013, Conneely 2013, Quigley 2013, Cornille 2014).

Concernant les vaches allaitantes, nous ne disposons que de peu d'informations. Les valeurs moyennes de concentration en IgG observées varient de 75.7 à 193.6 g/L (Guy 1994, Murphy 2005, McGee 2006, Maillard 2013). Selon une étude s'intéressant à plusieurs races allaitantes françaises (charolaise, limousine, blonde d'aquitaine, rouge des prés, parthenaise, piémontaise) 6% des colostrums allaitants ont une concentration en IgG inférieure à 50g/L et 48% inférieure à 100 g/L (Cornille 2014).

Selon l'étude de Morill (2012), qui prend en compte à la fois la concentration en IgG et le comptage de la flore bactérienne, seuls 39.4% des colostrums répondent aux deux critères.

C. Facteurs de variation de la qualité du colostrum

1. Facteurs subis

a) Individu

La concentration en IgG dans le colostrum est hautement variable selon les individus (Baumrucker 2014). C'est le premier constat que dressent les études qui s'intéressent à cette dernière. En effet, plusieurs études rapportent des plages de variation très importantes de la concentration en IgG : 4-235 g/L (Gulliksen 2008), 13-256 g/L (Conneely 2013), 11-221 g/L (Kehoe 2011). Ainsi, au sein d'une région d'élevage, voir au sein d'une même ferme, des vaches laitières produisent un colostrum 70 fois plus concentré en IgG que d'autres. Cette variation individuelle est présente au sein d'un type racial et même au sein d'une race. Concernant les vaches laitières de race Prim Holstein, selon les études, les concentrations

moyennes en IgG varient aussi de façon importante, avec par exemple le même auteur qui rapporte des concentrations moyennes de 41g/L en 2007 et 96.1 g/L en 2011 (Kehoe 2007, 2011). Les autres facteurs de variation qui sont détaillés ci-après peuvent expliquer en partie ces variations individuelles. Cependant, la qualité du colostrum possède une certaine héritabilité et donc une répétabilité chez un individu (Maillard 2013, Conneely 2013). Conneely (2013) avance un coefficient d'héritabilité h^2 de 0.10 pour la concentration en IgG du colostrum pour des vaches laitières (PH – Jersey - Norwegian red - Montbéliarde), ce qui est inférieur à une étude précédente qui rapporte un coefficient de 0.41 pour des races allaitantes (Hereford/Angus) (Godden 2008). Une certaine sélection basée sur la qualité du colostrum est donc envisageable.

Une explication à cette variabilité individuelle de la qualité de colostrum serait la variabilité qui existe dans le moment où a lieu la transition de la phase I de la lactogénèse, comprenant la prolifération – différenciation des cellules du tissu mammaire et la colostrogénèse, et la phase II de la lactogénèse où a lieu réellement la production laitière (Guy 1994, Baumrucker 2014). En effet, chez certains individus cette transition aurait lieu plusieurs jours avant la mise bas (Vetter 2013, Baumrucker 2014). La production de lactose et l'incorporation d'ions aux sécrétions accumulées dans la mamelle pendant le tarissement augmente la pression osmotique intra mammaire et l'appel d'eau entraîne une dilution des Ig accumulées dans la mamelle (Baumrucker 2014).

b) Race

Concernant les types raciaux, les vaches allaitantes produisent un colostrum significativement plus riche en IgG que les vaches laitières (Guy 1994, Cornille 2014). Cette différence pourrait s'expliquer par une activité lactogénique plus précoce et plus intense chez les vaches laitières que chez les vaches allaitantes, conduisant à une dilution des Ig dans les constituants du lait, en particulier par un appel d'eau vers la mamelle (Guy 1994, Baumrucker 2014).

Concernant les différentes races de vaches laitières, la Prim Holstein est souvent citée comme ayant le colostrum le moins riche en IgG. En effet, Muller (1981) compare différentes races de vaches laitières et rapporte un colostrum significativement de moins bonne qualité pour les Prim Holstein que pour les Jersiaises ou les Ayrshire et avec une tendance pour les Brunnes des Alpes ou les Guernesaises à produire un colostrum moins riche que ces dernières. Ces constatations reposent sur la concentration en immunoglobulines totale, et non sur la concentration en IgG qui est similaire pour les différentes races. Morin (2010) confirme la supériorité des Guersiaises sur les Prim Holstein concernant la qualité du colostrum. Godden (2008) explique ces différences entre races laitières par des différences au niveau génétique mais aussi par des quantités de colostrum produites qui sont différentes.

Peu d'informations sont disponibles sur les races de vaches allaitantes. Cependant, il ne semble pas y avoir de différence statistiquement significative entre les vaches charolaises et limousines quant à leur concentration en IgG1 dans le colostrum (Murphy 2005).

c) Rang de lactation – âge de la vache

Le rang de lactation, c'est-à-dire la parité, est l'un des facteurs qui affecte le plus la qualité du colostrum (Pritchett 1991). Ceci a particulièrement été étudié pour la vache laitière.

Un grand nombre d'études s'accorde sur une amélioration de la qualité du colostrum avec l'augmentation du rang de lactation (Muller 1981, Pritchett 1991, Tyler 1999, Moore 2005, Godden 2008, Gulliksen 2008, Kehoe 2011, Le Cozler 2012, Conneely 2013, Maillard 2013, Bartier 2015). En effet, les vaches qui appréhendent une lactation de rang élevé sont plus susceptibles de produire un colostrum de bonne qualité. Cependant, les études ne s'accordent pas toutes sur le rang de lactation à partir duquel le colostrum est de meilleure qualité que pour les lactations précédentes. La plupart des publications rapportent que les vaches à partir de la 3^{ème} lactation produisent un colostrum significativement plus riche en IgG par rapport aux deux premières lactations (Muller 1981, Pritchett 1991, Tyler 1999, Moore 2005, Kehoe 2011, Bartier 2015). Gulliksen (2008) trouve une concentration en IgG significativement supérieure à partir de la 4^{ème} lactation et Conneely (2013) avance une qualité supérieure pour les 3^{ème} et 5^{ème} lactations sans différence significative pour la 4^{ème} lactation. En définitive, les vaches laitières peuvent atteindre leur capacité maximale de concentrer les IgG dans leur colostrum à partir de leur 3^{ème} lactation. Aucune différence de qualité du colostrum n'est observée pour les vaches qui entament des lactations dont le rang est supérieur à 4. Concernant les deux premières lactations, il n'existe pas de différence significative dans la qualité du colostrum (Pritchett 1991, Tyler 1999, Gulliksen 2008, Conneely 2013, Bartier 2015). Les concentrations moyennes en IgG en 2^{ème} lactation sont souvent supérieures à celles en première lactation mais elles peuvent être inférieures (Gulliksen 2008, Bartier 2015) ou égales (Pritchett 1991).

Les différences sur le plan statistique ont également une réalité biologique. On peut citer l'essai de Pritchett (1991) sur 919 Prim Holstein, où il faut attendre la 3^{ème} lactation pour que les concentrations moyennes en IgG dépassent le seuil de 50 g/L. Les différences de qualité du colostrum peuvent être importantes selon la parité, par exemple pour Kehoe (2011) : 83.5 et 92.9 g/L d'IgG en 1^{ère} et 2^{ème} lactation contre 107.4 et 113.3 g/L d'IgG en 3^{ème} et 4^{ème} lactation. Ceci représente 29% d'augmentation de la concentration en IgG entre la première et la troisième lactation, où la différence de qualité devient significative par rapport aux premières.

Les vaches en 1^{ère} et 2^{ème} lactation sont plus à risque de produire un colostrum de mauvaise qualité. Cependant, il ne faut absolument pas écarter systématiquement le colostrum des vaches en 1^{ère} lactation pour la distribution à leur veau (Gulliksen 2008, Kehoe 2011, Conneely 2013). En effet, il existe une variabilité entre les individus au sein d'un même rang de lactation similaire à celui entre n'importe quelles vaches, ce qui explique qu'une vache en première lactation peut avoir un colostrum de meilleure qualité qu'une vache en 4^{ème} lactation. D'autre part, Kehoe (2011) rapporte une concentration moyenne en IgG des colostrum des vaches en 1^{ère} lactation de 83.5 g/L, ce qui est largement supérieur au seuil de 50 g/L pour pouvoir le

distribuer au veau. L'étude de Conneely (2013) ne comporte que 10% des vaches en première lactation qui ont un colostrum de mauvaise qualité. Il est donc nécessaire de considérer les colostrums de façon individuelle et, tout en prenant garde aux vaches de rang de lactation faible, d'estimer la qualité du colostrum avant de la distribuer au veau.

Cette amélioration de la qualité du colostrum avec le nombre de vêlages pourrait être liée au temps d'exposition plus long aux agents pathogènes, entraînant ainsi une synthèse d'immunoglobulines plus importante, associée à une commutation isotypique vers les Ig de classe G (Gulliksen 2008, Conneely 2013). Cependant, lorsque l'on considère le mécanisme de transfert des Ig vers les sécrétions mammaires qui se fait en fonction des récepteurs RnFc avec une saturabilité, l'augmentation du transfert des Ig ne peut se faire que par augmentation du nombre de RnFc et non par augmentation de la concentration sérique en Ig. D'autre part, la quantité de tissu mammaire n'a aucun effet sur la masse d'IgG1 transférée (Baumrucker 2010).

Concernant les vaches allaitantes, l'âge ne semble pas avoir d'influence sur la qualité du colostrum (McGee 2006).

d) Saison vêlage

La période où a lieu le vêlage au cours de l'année a un effet controversé sur la qualité du colostrum. Gulliksen (2008) trouve des concentrations en IgG significativement plus faibles durant les mois de décembre, janvier et février et des concentrations significativement plus élevées en août, septembre et octobre. Conneely (2013) décrit des concentrations des colostrums moins riches au cours du mois d'avril. Gulliksen explique ceci par un climat plus froid en Norvège et Conneely par le système pastoral, et donc l'alimentation en Irlande. D'autres auteurs ne rapportent pas d'effet significatif de la saison (Pritchett 1991, Bartier 2015) ou de la photopériode (Morin 2010) sur la qualité du colostrum. Il semblerait donc que la saison de vêlage n'ait qu'un effet extrêmement limité, voir nul, sur la qualité du colostrum, à moins que le climat soit extrême. En effet, des températures très élevées peuvent être responsables d'une diminution de la qualité du colostrum : diminution des concentrations en IgG et IgA mais aussi en nutriments dans le colostrum (Godden 2008).

De façon pratique, sous les latitudes française, l'éleveur n'a pas à s'intéresser plus particulièrement au climat pour de la gestion du colostrum et du transfert d'immunité passive.

e) Volume de colostrum produit

Toutes les études ne sont pas unanimes sur l'influence de la quantité de colostrum produite, c'est-à-dire le mélange du produit des quatre quartiers lors de la première traite, sur sa concentration en IgG. Cependant, plusieurs essais, dont certains très récents, montrent que le volume de colostrum a une influence négative sur sa qualité (Pritchett 1991, Guy 1994, Godden 2008, Morin 2010, Kehoe 2011, Conneely 2013). En effet, le coefficient de corrélation entre le volume et la qualité du colostrum est négatif avec une valeur de -0.16 à -0.29 pour

des vaches de race Prim Holstein (Pritchett 1991, Kehoe 2011). Il semble exister une relation linéaire entre les deux paramètres. On constate une diminution de la concentration en IgG de 1.5 à 1.7 g/L lorsque le volume de colostrum augmente d'un kg (Kehoe 2011, Conneely 2013). Baumrucker (2010) ne trouve aucun effet significatif du volume de colostrum produit sur sa richesse en IgG.

Pritchett (1991) affirme que, avec le rang de lactation, le volume de colostrum produit est la meilleure variable pour prédire la qualité du colostrum. En effet, une vache qui produit moins de 8.5kg de colostrum est plus susceptible de produire un colostrum de bonne qualité.

Cependant, il est important de souligner la grande variabilité au niveau de la qualité du colostrum qu'il existe pour un volume donné (Kehoe 2011). Ainsi, certaines vaches produisent de grandes quantités d'un colostrum d'excellente qualité : 15L de colostrum à plus de 150 g/L d'IgG (Kehoe 2011). On peut supposer que c'est cette grande variabilité qui met en défaut le modèle statistique à partir duquel les auteurs mettent en évidence, ou non, une influence de la quantité sur la qualité du colostrum.

En conclusion, un colostrum, produit en grande quantité, a plus de risque d'être de faible qualité. Il convient donc d'être méfiant même s'il ne faut absolument pas l'écarter systématiquement, tout comme pour les colostrums de primipares.

L'effet de la quantité sur la qualité du colostrum pourrait s'expliquer par un effet de dilution par les autres composants du lait, en particulier le lactose qui a un effet osmotique, vis-à-vis des IgG (Guy 1994, Baumrucker 2010). Guy (1994) démontre une augmentation de l'activité lactogénique de façon concordante, en temps et en amplitude, avec une diminution de la concentration en IgG dans le colostrum.

f) Effet quartier

L'« effet quartier » sur la qualité du colostrum, c'est-à-dire la différence de concentration en IgG du colostrum en fonction du quartier, a été peu étudié. Cependant, des études récentes s'accordent sur le fait qu'il peut exister une variabilité entre les quartiers d'une même vache : chaque quartier ne donne pas un colostrum aussi riche en IgG qu'un autre (Le Cozler 2012, Guatteo 2013, Baumrucker 2014). La variabilité entre les quartiers dépend des individus : certaines vaches présentent peu de variations entre leurs quartiers et d'autres, des variations fortes, pouvant aller du simple à plus du double (Baumrucker 2014). Cette variabilité concerne la concentration mais aussi la masse totale d'IgG produite par un quartier (Baumrucker 2014). Lorsque l'on considère les concentrations moyennes en IgG du colostrum produit par les différents quartiers, les quartiers antérieurs produisent un colostrum significativement moins riche que les quartiers postérieurs (Le Cozler 2012, Guatteo 2013). Cependant, cette différence a peu d'impact au niveau biologique puisqu'elle ne représente que 2 à 4 g/L d'IgG et ne conduit pas à une classification différente du colostrum au seuil de 50 g/L d'IgG (Le Cozler 2012, Guatteo 2013). Baumrucker (2014) ne met pas en évidence de différence entre les

quartiers avant et arrière, et donne même l'avantage aux quartiers antérieurs. D'autre part, le coefficient de corrélation entre les quartiers antérieurs et postérieurs est élevé ($r=0.90$) (Le Cozler 2012, Guatteo 2013).

Ainsi, la différence de qualité du colostrum entre les différents quartiers n'est pas un facteur majeur affectant la qualité du colostrum composite (mélange des 4 quartiers) distribué au veau. Ainsi, un colostrum d'excellente qualité provient très probablement de quatre quartiers produisant un excellent colostrum (Baumrucker 2014). Ce n'est pas forcément le cas d'un colostrum de qualité moyenne qui peut être issu de quartiers produisant des colostrums de qualités très différentes (Baumrucker 2014).

Ces considérations sont fondamentales concernant l'évaluation de la qualité du colostrum avant sa distribution au veau. En effet, il semble plus prudent de n'estimer la qualité d'un colostrum que sur un échantillon composite des quatre quartiers, pour ne pas prendre le risque d'exposer le veau à un échec du transfert d'immunité passive en surévaluant un colostrum composite à partir du quartier produisant le colostrum le plus riche.

Baumrucker (2014), en se basant sur le fait que la régulation hormonale systémique de la colostrogenèse est identique pour les quatre quartiers, émet une hypothèse de régulation locale du transfert des IgG vers la mamelle. Cette régulation locale pourrait faire intervenir des facteurs épigénétiques, autocrines ou paracrines, ou encore de santé (germes intra mammaires) expliquant cette colostrogenèse différentielle entre les quartiers.

g) Gémellarité – Mise bas avant terme

La mise au monde de jumeaux ou d'un veau avant le terme prédispose la mère à produire un colostrum de qualité plus faible (Becker 2013, Maillard 2013).

h) Phases de la traite

Au cours de la traite, la composition du lait change en faveur d'une teneur de plus en plus élevée en matières grasses (Vetter 2013). C'est sur cette observation que s'appuie l'hypothèse que la concentration en IgG du colostrum pourrait changer au cours de la première traite. La phase de la traite, c'est-à-dire le moment au cours de la première de traite où l'échantillon de colostrum est prélevé, n'a pas d'effet significatif sur la concentration en IgG dans le colostrum même si des fluctuations de faible amplitude sont décelables (Hostetler 2003, Vetter 2013, Guatteo 2013).

Ainsi, le colostrum a la même concentration en IgG au cours de la traite, qu'il soit citernal ou alvéolaire. Cette observation a son importance dans l'estimation de la qualité du colostrum avant son utilisation. En effet, il suffit de collecter un échantillon de quelques millilitres de colostrum, en mélangeant les quatre quartiers, pour pouvoir évaluer sa qualité. Hostetler (2003) montre qu'il n'y a pas de différence significative de la qualité du colostrum entre les premiers jets et le colostrum composite issu de la traite de la vache. Il n'est donc pas

nécessaire d'attendre la traite intégrale de la vache pour se rendre compte que son colostrum est de mauvaise qualité. Ceci est particulièrement pratique pour les éleveurs qui traitent la vache qui vient de vêler séparément des autres pour récolter le colostrum le plus précocement possible.

2. Facteurs maîtrisables

a) Durée de tarissement

La durée du tarissement n'a pas d'effet sur la qualité du colostrum, notamment lorsque celle-ci est d'au moins 28 jours, et n'excède pas 90 jours (Pritchett 1991, Godden 2008, Maillard 2013). Cette observation s'explique par le fait que les immunoglobulines, du fait de modifications hormonales, commencent à être transférées vers les sécrétions lactées à partir du sang maternel, dans les 4 à 6 semaines qui précèdent le part (cf. colostrogenèse). La quantité d'Ig transférée est maximale pendant les derniers jours de gestation, même si leur concentration commence à baisser du fait de la production des autres composants du lait (Guy 1994).

Par contre, il existe une corrélation positive ($r=0.19$) entre la durée du tarissement et la quantité de colostrum produite (Pritchett 1991). En effet, lors d'un tarissement court, de 40 jours, on constate une diminution de la quantité de colostrum produite de 2.2 kg en moyenne, par rapport à un tarissement de 60 jours.

Concernant les vaches allaitantes, on peut comparer le tarissement des vaches laitières à la période entre sevrage et vêlage. Alors que les jeunes sont séparés des vaches en systèmes laitiers, les broutards, lors de sevrages tardifs, peuvent encore être avec leur mère en élevage allaitant. Si bien qu'il existe un risque de « pillage » du colostrum destiné au veau suivant par le veau précédent, lorsque des sécrétions mammaires commencent à s'accumuler dans la mamelle. Une partie des immunoglobulines transférées dans la mamelle seront donc consommées et la qualité du colostrum sera moindre puisque ces dernières manqueront. Il en est de même pour les veaux « voleurs » qui viennent téter les vaches qui n'ont pas encore mis bas.

b) Alimentation pendant le tarissement

L'alimentation pendant le tarissement correspond aux quantités d'énergie, d'azote et de vitamines et minéraux apportés par la ration de tarissement. Ses effets sur la qualité du colostrum seront étudiés dans une partie présentée plus loin.

c) Délai entre la mise bas et la traite

Le délai entre la parturition et la collecte du colostrum est un des paramètres majeurs du transfert de l'immunité passive de la mère à son veau. Ce délai impacte la qualité de colostrum de façon assez importante et est facilement maîtrisable par l'éleveur.

En effet, plusieurs études démontrent l'influence négative d'un délai long entre la naissance du veau et la première traite sur la concentration en IgG dans le colostrum, chez la vache laitière (Moore 2005, Godden 2008, Morin 2010, Conneely 2013). Aucune donnée n'est disponible concernant les vaches allaitantes.

L'influence négative du délai de collecte sur la qualité du colostrum est donc non seulement statistiquement significative, mais aussi biologiquement importante.

Délai mise bas – collecte colostrum	Concentration en IgG (g/L)	Variation par rapport à 2h <i>post partum</i>
2h	113	-
6h	94	-17%
10h	82	-27%
14h	76	-33%

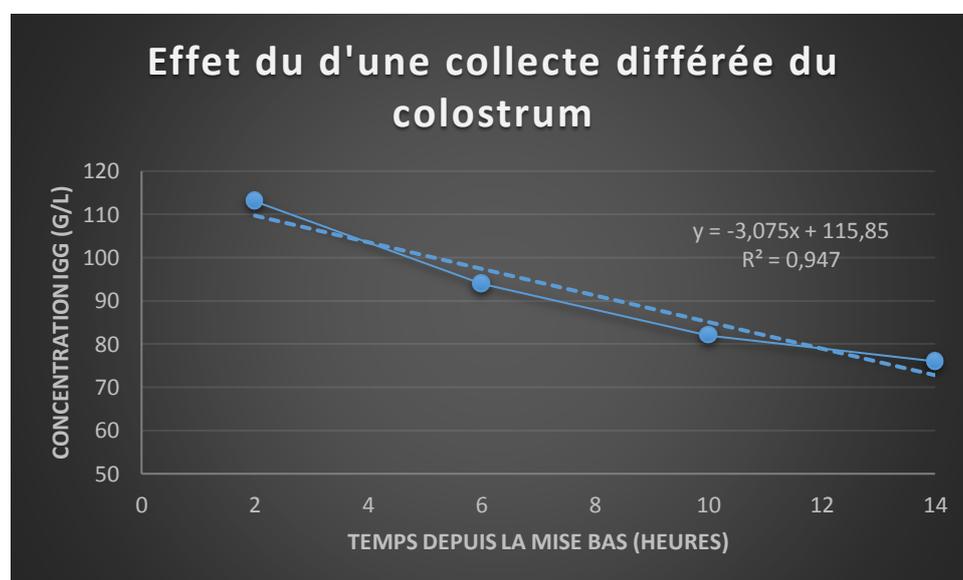


Figure 2 : Représentation de la concentration en IgG dans le colostrum en fonction du délai entre la naissance du veau et la collecte du colostrum (13 vaches Prim Holstein dont le colostrum est collecté 2, 6, 10 ou 14h *post partum* dans un quartier de la mamelle sélectionné aléatoirement) (Moore 2005)

Dans l'étude de Moore (2005), la concentration en IgG dans le colostrum diminue rapidement de 17% en 6h et de 33% en 14h après la mise bas. Cette chute est significative déjà à partir de 6 heures *post partum*. Morin (2010) avance une diminution de 3.7% de la concentration en IgG chaque heure à partir du vêlage jusqu'à la première traite. Si l'on calcule ce chiffre pour l'étude présentée ci-dessus, il est du même ordre de grandeur, avec une diminution de 2.7% de la concentration en IgG chaque heure. Conneely (2013) ne met en évidence qu'une différence significative à partir de 9h *post partum* avec une chute de la concentration de 20%

environ, moindre que les deux études précédentes avec une perte de 1.1% par heure. Bien que l'étude porte sur des vaches Prim Holstein, Moore (2005) présente des résultats avec des colostrums de très bonne qualité, 113 g/L d'IgG 2 heures *post partum*, si bien que 14 heures *post partum* la concentration moyenne en IgG des colostrum dépasse encore le seuil de 50 g/L. Ceci ne serait pas le cas si le colostrum était de moins bonne qualité chez ces vaches.

Ainsi, le délai entre le vêlage et la première traite est un facteur à priori facilement maîtrisable par l'éleveur et essentiel à maîtriser au vu de son impact sur la qualité du colostrum, surtout dans les élevages où les colostrums ne sont pas de qualité très élevée. Cependant, avec les méthodes de conduite d'élevage modernes, il est fréquent qu'un délai de 12h entre la mise bas et la traite soit observé, plus encore pour des élevages de grande taille (Moore 2005, Kehoe 2007). En effet, pour une vache ayant vêlée le soir après la traite, le colostrum sera collecté à la traite du matin suivant.

Cette diminution de la concentration en IgG avec le délai de collecte du colostrum semble résulter d'un effet de dilution (Guy 1994, Baumrucker 2010). En effet, la concentration circulante élevée en prolactine après le vêlage induit un arrêt du transfert des IgG vers la mamelle et le début de la production lactée. La quantité d'immunoglobuline présente dans la mamelle est progressivement diluée par les composants du lait, d'autant plus que le lactose a un fort pouvoir osmotique. Cependant, même si cette théorie est séduisante, elle est mise en défaut par certains auteurs, qui ne parviennent pas à montrer que la quantité de colostrum lors de la première traite est significativement augmentée par le délai de collecte (Moore 2005, Kessler 2014), ou dans des proportions insuffisantes pour expliquer la diminution de la concentration en IgG (Conneely 2013). Ces observations sont en défaveur d'une dilution des Ig par les sécrétions lactées. On peut alors émettre l'hypothèse d'une diffusion passive des IgG qui rejoindraient la circulation systémique de la vache en absence de collecte assez rapide (Moore 2005).

d) Etat de santé de la mère (mammite, parasitisme,...)

L'état de santé général de la mère semble avoir un impact sur la qualité du colostrum (Godden 2008, Maillard 2013, Becker 2013). Cependant, selon les études, il est difficile de percevoir l'effet réel d'une pathologie donnée sur la concentration en IgG dans le colostrum.

Tout d'abord, concernant la santé de la mamelle, les mammites ont un effet délétère sur la qualité et la quantité du colostrum produit lorsqu'elles surviennent pendant la période de tarissement (Maillard 2013, Godden 2008) empêchant vraisemblablement le transfert des immunoglobulines vers la mamelle. Concernant les taux cellulaires (CCSI), il semble que les CCSI de la lactation précédente n'ont pas d'influence sur la qualité du colostrum (Gulliksen 2008). Cependant, la CCSI au premier contrôle laitier a un impact négatif sur la qualité du colostrum produit lors de l'initiation de cette lactation (Gulliksen 2008, Le Cozler 2012). En effet, les vaches ayant une CCSI supérieure à 50 000 cellules/ml ont significativement plus de

risque (OR=1.7) de produire un colostrum avec une concentration inférieure à 30 g/L (Gulliksen 2008).

Pour ce qui est des infestations parasitaires, Maillard (2013) met en avant un effet délétère de la fasciolose sur la qualité du colostrum alors que Werbrouck (2010) ne met pas en évidence de corrélation entre le statut sérologique vis-à-vis de *Fasciola hepatica*, ni d'*Ostertagia sp.*, et la richesse en IgG dans le colostrum. Ainsi, il semble que l'effet du parasitisme soit directement lié à son intensité. Une infestation majeure par la grande douve, associée à une hypo protéinémie pendant la période de formation du colostrum, pourrait diminuer le transfert d'Ig vers la mamelle.

Concernant les pathologies du peripartum suivantes, les fièvres vitulaires, les gestations prolongées, les rétentions placentaires et les dystocies, elles n'ont pas d'influence sur la qualité du colostrum (Gulliksen 2008, Kehoe 2011).

Pour conclure, on a peu de certitudes sur l'effet d'une pathologie donnée sur la qualité du colostrum. Seules les infections mammaires semblent avoir un effet délétère constant. Il semble s'en dégager que les pathologies sévères peuvent diminuer la qualité du colostrum, mais pour l'éleveur ces dernières affectent bien plus le niveau de production et la reproduction que le colostrum.

e) Vaccination

La vaccination des mères, avec un rappel en fin de gestation, permet d'augmenter la concentration en Ig dirigées contre les antigènes vaccinaux dans le colostrum, vraisemblablement en augmentant leur proportion par rapport aux autres Ig (Godden 2008).

D. Influence de l'alimentation en fin de gestation sur la qualité du colostrum

1. Alimentation énergétique et protéique

De nombreux travaux traitent de l'influence de l'alimentation en fin de gestation sur la qualité du colostrum produit. Contrairement aux autres facteurs influençant la qualité du colostrum, ce facteur de variation est assez bien documenté pour les vaches allaitantes

a) Suralimentation

La suralimentation, bien qu'économiquement peu intéressante, peut concerner certaines vaches, en particulier les vaches laitières pendant la période de tarissement, surtout si elles ne sont pas séparées du troupeau en lactation.

Très peu d'études sont disponibles sur l'effet de la suralimentation en fin de gestation. Les travaux menés rapportent une absence d'influence d'une suralimentation, protéique et énergétique ou protéique seule, sur la concentration en Ig du colostrum (Halliday 1978, Burton 1984, Guérou 2013). Ceci a été montré à la fois chez des vaches allaitantes et des vaches laitières et sur des périodes assez longues, de 3 à 4 mois, précédant la mise bas (Halliday 1978, Burton 1984).

Cependant, même en l'absence d'effet de la suralimentation sur la qualité du colostrum, cette dernière peut nuire au TIP. En effet, elle peut induire un engraissement de la vache en fin de gestation, augmentant ainsi le risque de dystocie et d'acidose respiratoire du veau à la naissance (Guérou 2013). Or l'acidose respiratoire diminue l'efficacité du TIP selon deux axes : diminution de l'efficacité d'absorption des Ig d'une part, et retard de la buvée spontanée du veau d'autre part (Guérou 2013).

b) Sous-alimentation

Il est légitime de suspecter des effets négatifs de la sous-alimentation sur le système immunitaire de la mère et donc du colostrum. Une détérioration du transfert de l'immunité passive chez le rat a d'ailleurs été rapportée (Blecha 1981). La sous-alimentation peut être globale ou seulement protéique selon les études. Le fait de connaître ses effets sur la qualité du colostrum peut être intéressant, surtout en élevage allaitant où le fourrage peut venir à manquer au pré en cas de sécheresse estivale.

Huit études, dont certaines sont récentes, ont été sélectionnées pour évaluer l'effet d'une sous-alimentation sur la qualité du colostrum. Ces études comparent des groupes de vaches, dont certains sont restreints en énergie et/ou en protéines, à d'autres dont les apports nutritionnels sont adéquats ou légèrement supérieurs. Les restrictions alimentaires sont mises en place en fin de gestation sur de plus ou moins longues durées : de 15 jours *ante partum* à la seconde moitié de la gestation, en passant par la période de début de tarissement (Olson 1981, McGee 2006, Nowak 2012). Ces travaux ont été conduits à la fois sur des vaches allaitantes et des vaches laitières, de races différentes, nous permettant de raisonner de façon globale.

Une restriction alimentaire n'a pas d'influence significative, quel que soit sa durée et son intensité, sur la concentration en immunoglobulines dans le colostrum bovin, et ce pour toutes les classes d'immunoglobulines : IgG1-IgG2-IgM et IgA (Halliday 1978, Delong 1979, Blecha 1981, Olson 1981, Burton 1984, Hough 1990, McGee 2006, Nowak 2012, Guérou 2013).

Tableau IV : Synthèse des résultats de plusieurs publications étudiant l'influence d'une restriction alimentaire sur la qualité du colostrum (Halliday 1978, Delong 1979, Blecha 1981, Olson 1981, Burton 1984, Hough 1990, McGee 2006, Nowak 2012)

Publication	Type racial - conduite d'élevage	Restriction alimentaire		Effet significatif sur la qualité du colostrum
		Type	Durée	
Halliday 1978	Allaitant	Protéine et énergie	12 semaines	AUCUN
Delong 1979	Allaitant (n = 39)	Protéine	4 mois	AUCUN
Blecha 1981	Allaitant (n=62)	Protéine	100j	AUCUN
Olson 1981	Allaitant	Protéine et énergie	156 j	AUCUN
Burton 1984	Laitier (n=26)	Protéine	3 mois	AUCUN
Hough 1990	Allaitant (n=26)	Protéine et énergie	90j	AUCUN
McGee 2006	Allaitant (n=62)	Protéine et énergie	15j	AUCUN
Nowak 2012	Laitier (n=38)	Protéine et énergie	-56 à -22j avant MB	AUCUN

Seule une publication rapporte une masse totale d'IgG1, d'IgM et d'Ig totales dans le colostrum supérieure pour les animaux nourris avec de l'ensilage d'herbe par rapport à ceux nourris avec uniquement de la paille (McGee 2006).

De plus, même en l'absence d'effet significatif, les colostrums produits par les vaches restreintes sur le plan alimentaire, sont souvent numériquement de meilleure qualité que ceux produit par des vaches non restreintes : 43.0 vs 39.5 g/L (Hough 1990), 45.4 vs 44.0 g/L (Nowak 2012), 35.2 vs 31.6 g/L (Blecha 1981), 202.7 vs 197.1 (Delong 1979).

La plupart des travaux ont été réalisés avec un faible nombre d'individus, 62 au maximum. Un petit effectif donne peu de puissance de discrimination aux tests statistiques. En effet, pour qu'une différence biologique faible soit significative sur le plan statistique, un nombre très grand d'individus est nécessaire. Cependant, l'avantage numérique non significatif pour les individus sujet à une restriction alimentaire va dans le sens d'une réelle absence d'effet d'une restriction alimentaire en fin de gestation sur la qualité du colostrum.

Concernant le volume de colostrum produit, la sous-alimentation protéique ou énergétique et protéique, n'a pas d'influence significative, que ce soit pour des vaches allaitantes ou des vaches laitières (Burton 1984, McGee 2006). Ceci étant, il est difficile d'expliquer la masse totale d'Ig plus élevée produite par les vaches non restreintes sur le plan alimentaire, rapporté par McGee (2006), à concentration en Ig et volume produit identiques.

Parallèlement à la concentration en Ig dans le colostrum, la restriction alimentaire n'a pas d'effet significatif sur les concentrations en Ig circulantes dans le sang des vaches (Blecha

1981, Olson 1981, McGee 2006). Cette stabilité de la concentration en Ig dans le sérum des mères restreintes sur le plan alimentaire explique les concentrations similaires retrouvées dans le colostrum. Le système immunitaire humoral bovin est donc stable face à une carence en énergie et/ou en protéines, même en fin de gestation.

Ainsi, concernant la ration de base en fin de gestation, et surtout lors du tarissement des vaches laitières, il convient de la concevoir par rapport aux considérations métaboliques (préparation de la nouvelle lactation) plutôt qu'immunologiques.

2. Alimentation minérale et vitaminique

La composition minérale et vitaminique de la ration est essentielle à maîtriser en fin de gestation, autant pour les macro- que pour les oligoéléments. Concernant le colostrum, les oligoéléments, et plus particulièrement le sélénium, jouent un rôle important.

a) Influence du sélénium

Le sélénium est un oligoélément qui joue un rôle prépondérant dans la santé des ruminants. Les bovins sont sujets à des carences lorsqu'ils pâturent sur des sols pauvres en sélénium ou sont nourris avec des fourrages issus de ces sols. Ceci concerne tout particulièrement l'Auvergne, la Bourgogne et le Limousin (Guélou 2013). Ainsi, les vaches allaitantes qui passent une partie important de l'année à l'herbe y sont particulièrement exposées.

Le sélénium participe à diverses fonctions physiologiques. Il est le cofacteur de sélénoprotéines, avec en particulier la glutathion peroxydase qui est une enzyme qui assure un rôle d'antioxydant en neutralisant les radicaux libres (Lacetera 1996, Awadeh 1997, Pavlata 2004, Enjalbert 2009, Guélou 2013). Le sélénium intervient dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes, en participant à la conversion de la T4 en T3, qui correspond à la forme active des hormones thyroïdiennes iodées (Awadeh 1997, Enjalbert 2009, Guélou 2013). Il est également fortement impliqué dans les défenses immunitaires, en augmentant l'activité phagocytaire des polynucléaires neutrophiles et des macrophages, mais aussi en améliorant la réponse lymphocytaire aux stimuli antigéniques (Awadeh 1997, Enjalbert 2009, Guélou 2013).

Le sélénium passe facilement la barrière placentaire et se concentre au niveau du foie du fœtus, mais il se concentre aussi dans le colostrum. Le veau a donc accès à une double source de sélénium lorsque la concentration sanguine est assez élevée chez la mère (Enjalbert 2009, Guélou 2013). La supplémentation en sélénium des vaches gestantes et souvent couplée à une supplémentation en vitamine E, une vitamine liposoluble qui passe très peu la barrière placentaire.

L'influence du sélénium, souvent associé à la vitamine E, sur la qualité du colostrum a été largement étudiée en comparant des lots de vaches supplémentées à des lots témoins. Il convient de différencier la supplémentation orale de la supplémentation parentérale.

L'apport de sélénium par voie orale dans la ration, pendant une période longue, allant de 3 à 4,5 mois avant la mise bas, augmente de façon significative la concentration en IgG dans le colostrum (Swecker 1995, Awadeh 1997). Cet effet est observé à partir d'une ingestion de 3,3 mg de sélénium par jour pendant 90 jours (Awadeh 1997) ou lors de la distribution d'un aliment minéral contenant 120 mg/kg de sélénium pendant 135 jours (Swecker 1995). A cela s'ajoute une corrélation significativement positive ($r=0.31$) entre la concentration en sélénium et en IgG dans le colostrum (Swecker 1995). L'augmentation de la concentration en IgG dans le colostrum est de l'ordre de 30% entre le groupe témoin (ou le moins supplémenté) et le groupe supplémenté. Cet effet positif de la supplémentation orale en sélénium sur la concentration en IgG dans le colostrum n'est pas retrouvé pour les IgM (Swecker 1995, Awadeh 1997). Ceci suggère que le sélénium interviendrait dans le transfert des IgG du sang vers le colostrum mais pas sur la synthèse locale des IgM.

Il semblerait que **l'administration parentérale de sélénium**, associée à de la vitamine E, n'ait pas d'effet significatif sur la concentration en IgG dans le colostrum (Swecker 1995, Lacetera 1996, Moeini 2011, Kafilzadeh 2014). En effet, ce constat a été posé par plusieurs équipes de recherche, quel que soit le moment de l'injection (4,5 mois à 1,5 semaines précédant le part), le nombre d'injections (une ou deux) et avec des posologies allant jusqu'à 0.1 mg/kg de sélénium (Swecker 1995, Lacetera 1996, Moeini 2011, Kafilzadeh 2014). Cependant, une publication assez récente rapporte une augmentation significative de la concentration en immunoglobulines (toutes les classes) dans le colostrum suite à deux injections de sélénium (44 mg/animal) et de vitamine E, à 8 et 4 semaines *ante partum* (Pavlata 2004). Il faut pourtant nuancer la représentativité, et donc la transposabilité de cette étude dans d'autres élevages. Elle a été conduite avec un faible nombre d'animaux (7 dans le groupe traité et 5 dans le groupe témoin), tous issus d'un élevage en proie à des carences sévères en sélénium avec plusieurs cas de myopathies diagnostiquées l'année précédant l'étude.

On peut donc conclure à une influence positive, non négligeable, de l'ordre de 30%, de la distribution d'un aliment minéral riche en sélénium, par voie orale, en fin de gestation sur la qualité du colostrum.

La supplémentation en sélénium des vaches en fin de gestation, qu'elle soit orale ou parentérale, augmente significativement la concentration en sélénium dans le colostrum (Awadeh 1997, Pavlata 2004, Moeini 2011). Cette concentration en sélénium dans le colostrum peut influencer l'absorption intestinale des immunoglobulines, cet aspect sera développé dans la 3^{ème} partie. Des effets différents du sélénium selon les voies d'administration sont retrouvés au niveau des concentrations en immunoglobulines sanguines chez les mères. En effet, cette concentration est supérieure en fin de gestation, uniquement chez les vaches supplémentées par voie orale (Lacetera 1996, Awadeh 1997, Moeini 2011, Kafilzadeh 2014). Ceci explique la qualité supérieure du colostrum produit par les vaches supplémentées par voie orale. D'autre part, Lacetera (1996) rapporte une augmentation de 22% de la quantité de colostrum produite suite à 2 injections de vitamine E

et de sélénium, sans augmentation de la concentration en immunoglobulines. Il en résulte donc une quantité totale d'immunoglobulines produites plus élevée.

b) Influence des autres oligoéléments (Iode – Cuivre – Zinc)

Aucune étude n'a mis en évidence une influence de ces oligoéléments, ni d'une combinaison de ces derniers, sur la qualité du colostrum, même si l'effet délétère d'une carence sur la santé des veaux est bien documentée (Enjalbert 2009, Guélou 2013).

E. Evaluation de la qualité du colostrum

La qualité du colostrum, au cœur du transfert de l'immunité passive, se définit comme la concentration en IgG dans ce dernier. Il existe des techniques de laboratoire permettant de chiffrer exactement cette concentration. D'autres techniques, moins précises, permettent néanmoins d'estimer la qualité du colostrum, de façon indirecte, avec l'avantage de pouvoir être mises en œuvre en exploitation agricole. Ce sont ces dernières qui vont nous intéresser particulièrement par la suite.

1. Immunodiffusion radiale simple (IDR)

L'IDR est une technique de laboratoire permettant de doser précisément les immunoglobulines dans le colostrum (ou le serum). Cette technique est considérée comme la méthode de référence (« gold standard ») dans le dosage des immunoglobulines colostrales, car c'est la technique à laquelle les autres méthodes d'évaluation de la qualité du colostrum sont comparées pour déterminer leur fiabilité (Flenor 1981, Weaver 2000, Godden 2008, Quigley 2008b, Biemann 2010). La grande majorité des publications citées dans la bibliographie utilisent cette technique pour doser les immunoglobulines colostrales.

C'est une technique sérologique primaire, aussi appelée technique de Mancini, basée sur le principe de l'immunoprécipitation entre l'antigène que l'on cherche à doser, en l'occurrence des anticorps colostraux, avec des anticorps spécifiques. L'immunodiffusion se fait dans une gélose contenant une concentration connue en anticorps dirigés contre les immunoglobulines à doser. La gélose est percée de petits puits dans lesquels on dépose le colostrum, et à partir desquels les anticorps vont migrer. Lors de la migration, lorsque la zone d'équivalence est atteinte, c'est-à-dire lorsque les deux types d'anticorps sont présents en quantité équivalente et forment un maillage, la migration s'arrête. Parallèlement à cela, une gamme d'échantillons avec des concentrations connues en anticorps à doser, servant de témoin de charge, sont utilisés de façon à tracer une courbe d'étalonnage. En effet, le diamètre du cercle de précipitation au carré est lié linéairement à la concentration de la solution à doser (Figure 3). Il suffit alors de reporter le diamètre du cercle sur la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration en immunoglobulines du colostrum testé. La lecture est informatisée en laboratoire.

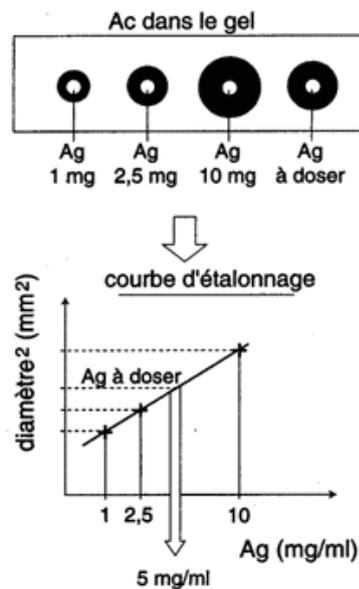


Figure 3 : Courbe d'étalonnage permettant de déterminer la concentration en immunoglobulines d'un colostrum par la méthode de l'IDR (<http://www3.univ-lille2.fr/immunologie/labo/Cours/DES/immunoprecipitation.pdf>)

Cette technique présente l'avantage d'être fiable et précise, mais aussi d'être spécifique de classe d'immunoglobulines. En utilisant des anticorps dans la gélose dirigés uniquement contre les IgG1, seuls ces derniers sont dosés. Cependant, elle présente plusieurs inconvénients. La migration des immunoglobulines colostrales peut être gênée par les autres constituants du colostrum, en particulier les matières grasses (Quigley 2008b). Flenor (1981) recommande tout de même de ne pas séparer les matières grasses pour faire l'analyse, en raison de surestimations de la qualité du colostrum ainsi occasionnées. D'autre part, la migration est longue et dure environ 24 heures.

D'autres méthodes de laboratoire permettant le dosage des immunoglobulines colostrales sont disponibles, avec en particulier des analyses de **turbidimétrie** (Turbidimetric immunosay TIA) et des **tests ELISA**, qui donnent des résultats similaires (Weaver 2000, Quigley 2008b). Cependant, en fonction des laboratoires, il peut exister des différences entre les méthodes en ce qui concerne les valeurs numériques. En effet, Quigley (2013) rapporte des concentrations en IgG significativement plus faibles pour la méthode turbidimétrique par rapport à l'immunodiffusion radiale, avec un coefficient de corrélation linéaire qui n'est que de 0.87 entre ces deux méthodes.

2. Pèse-colostrum

Le pèse-colostrum (ou colostromètre) est une méthode d'estimation de la qualité du colostrum basée sur la mesure de sa densité. Fleenor (1980) a introduit cette méthode en se basant sur une corrélation linéaire forte ($r=0.83$) entre la densité du colostrum et la concentration en IgG obtenue sur seulement 29 échantillons de colostrum. Il a ainsi déterminé une équation linéaire ($[Ig] = 255 \times \text{densités} - 261$) reliant la densité du colostrum à sa

concentration en Ig. Des pèse-colostrums ont donc été fabriqués, gradués directement en g/L d'immunoglobulines, permettant une évaluation simple de la qualité du colostrum.

Cependant, différentes publications rapportent des coefficients de corrélation très divers entre les Ig totales ou les IgG, et la densité du colostrum, pouvant varier du simple à plus du double. Certaines études récentes mettent en avant des coefficients de corrélation faibles de 0.36 à 0.53 avec des effectifs assez élevés (Morin 2001, Dinsmore 2008, Cornille 2014).

Tableau V : Coefficients de corrélation linéaire reliant la densité à la qualité du colostrum selon les publications

Publication	Paramètre relié à la densité	Nombre d'animaux	Coefficient de corrélation
Fleenor 1980	Ig totales	29	0.83
Mechor 1992	IgG	39	0.87
Quigley 1994	Ig totales	88	0.62
	IgG		0.63
Pritchett 1994	IgG1	915	0.68
Morin 2001	IgG1	1160	0.53
Dinsmore 2008	IgG	171	0.36
Cornille 2014	IgG1	248	0.45
Bartier 2015	IgG	460	0.77

Ensuite, de nombreux paramètres, autres que la concentration en immunoglobulines, affectent la densité du colostrum.

Tout d'abord, les autres composants du colostrum ont un effet certain sur sa densité. Les protéines totales sont fortement corrélées à la densité, même davantage encore que les immunoglobulines, avec des coefficients de corrélation variant de 0.66 à 0.87 (Mechor 1992, Quigley 1994, Morin 2001). Les protéines colostrales, autres que les immunoglobulines, peuvent donc faire varier la densité, surtout que la corrélation est positive aussi avec l'albumine (Fleenor 1980). En ce qui concerne le taux de matière grasse, celui-ci semble avoir une corrélation nulle ou négative avec la densité colostrale (Mechor 1992, Morin 2001).

D'autre part, la race de la vache affecte la densité du colostrum, si bien que le colostromètre donne des résultats approximatifs, voire faux lorsqu'on l'utilise chez des races autres que la Prim Holstein pour laquelle il a été calibré (Quigley 1994, Morin 2001). En effet, on risque une sous-estimation de la qualité du colostrum de Jersiaise en se basant sur l'échelle de Holstein (Quigley 1994). Cet effet de la race est dû aux proportions relatives des constituants du colostrum qui sont différentes selon les races. Cela concerne non seulement les immunoglobulines, mais aussi les matières grasses. La corrélation faible rapportée par Cornille (2014) s'explique vraisemblablement par le fait qu'il est le seul à avoir intégré des vaches allaitantes à son étude, qui ont des colostrums très riches en nutriments. D'autres paramètres comme le rang de lactation, l'année ou la saison de vêlage affectent aussi significativement la densité du colostrum (Morin 2001).

Enfin, la température du colostrum modifie sa densité (Mechor 1992, Morin 2001). La densité est surestimée à faible température et sous-estimée à forte température (Mechor 1992). Il est donc judicieux d'ajouter la température du colostrum à l'équation reliant la densité à la concentration en IgG : $[IgG] (g/L) = 853 \times \text{densité} + 0.4 \times \text{température } (^{\circ}C) - 866$ (Mechor 1992). Il en résulte donc une erreur de 0.4 g/L d'IgG par degré de température. Un même colostrum peut donc être de bonne qualité en sortant du réfrigérateur, et de mauvaise qualité juste après la traite de la vache.

Concernant les performances du pèse-colostrum pour classer un colostrum comme étant de bonne ou de mauvaise qualité, il convient de se référer aux valeurs caractéristiques.

Tableau VI : Valeurs caractéristiques des tests permettant de différencier un colostrum à plus de 50 g/L d'IgG, d'un colostrum moins concentré à différents seuils sur le pèse-colostrum (un échantillon positif est de bonne qualité)

Publication	Seuil sur le pèse colostrum (g/L)	Sensibilité	Spécificité
Pritchett 1994	50	0.98	0.26
Chigerwe 2008	70	0.78	0.75
	87.5	0.66	0.76
Cornille 2014	75	0.97	0.45
	85	0.88	0.76
Bartier 2015	80	0.77	0.84

Le pèse colostrum est utilisé comme un test permettant de statuer sur la qualité du colostrum, c'est-à-dire s'il est de bonne qualité (plus de 50 g/L d'IgG – échantillon positif) ou non, sans chercher à chiffrer précisément cette dernière. Les valeurs d'immunoglobulines indiquées sur le pèse-colostrum surestiment considérablement sa qualité (Mechor 1992, Le Cozler 2012, Bartier 2015). Il faut donc définir un seuil sur le pèse-colostrum correspondant à une concentration seuil (cutoff) de 50 g/L d'IgG effective. Seules quelques publications définissent des valeurs de spécificité et de sensibilité pour le pèse-colostrum. Les valeurs de sensibilité sont bonnes à excellentes mais la spécificité est assez faible à très faible, particulièrement pour un seuil de 50 g/L d'Ig sur le pèse colostrum où elle est de 0.26 (Pritchett 1994, Cornille 2014). Il en résulte un nombre important de faux positifs : 2/3 des colostrums de mauvaise qualité sont identifiés comme étant de qualité acceptable (Pritchett 1994, Weaver 2000). Or, il est légitime de considérer que le coût d'un faux positif, c'est-à-dire l'acceptation d'un colostrum de mauvaise qualité, est bien supérieur au refus d'un colostrum de bonne qualité (Pritchett 1994). Il est donc essentiel de privilégier la spécificité du test en choisissant un seuil élevé sur le pèse colostrum. On obtient une spécificité de 0.84 avec un seuil élevé de 80 g/L d'Ig sur le pèse colostrum, ce qui est une valeur assez élevée (Bartier 2015).

On peut donc conclure à une efficacité relativement faible du pèse colostrum dans la discrimination entre les bons et les mauvais colostrums. De plus, la densité colostrale est influencée, non seulement par la température, mais aussi par les autres constituants du

colostrum. Enfin, l'utilisation d'un tel appareil nécessite une quantité assez importante de colostrum : 250 à 500 ml au minimum.

3. Réfractométrie numérique et optique

a) Principe de fonctionnement d'un réfractomètre

Le fonctionnement d'un réfractomètre est basé sur la différence entre l'indice de réfraction de la solution à tester et l'air. En effet, à l'interface entre deux milieux dont l'indice de réfraction est différent, un rayon lumineux est réfracté ou réfléchi en fonction de son angle d'incidence. D'après la mesure de l'angle critique à partir duquel le rayon n'est plus réfracté, le réfractomètre détermine l'indice de réfraction de la solution à tester. La différence entre un réfractomètre optique et numérique, est que pour le premier c'est à partir de la lumière du jour que la mesure est effectuée et que dans le deuxième cas, le rayon lumineux émane d'une LED. L'indice de réfraction de la solution à tester est ensuite transformé en %brix grâce à une fonction polynomiale. Le %brix correspond à la teneur en saccharose d'une solution sucrée (jus de fruit,...). En ce qui concerne les solutions riches en protéines, comme le colostrum bovin, ce sont surtout les solides dissouts et particulièrement les protéines qui déterminent l'index de réfraction (Quigley 2013, Morill 2015, Manuel d'utilisation réfractomètre HI 96801).

b) Relation entre le %brix et la qualité du colostrum

Tout comme pour les pèse-colostrum, la comparaison de la concentration en IgG des échantillons de colostrum, avec les mesures effectuées par un réfractomètre en %brix, permet de déterminer des coefficients de corrélation linéaire.

Tableau VII : Coefficients de corrélation linéaire reliant la valeur de réfraction (%brix) à la concentration en IgG dans le colostrum (PH : Prim Holstein – VA : races allaitantes – VL : races laitières)

Type de réfractomètre	Publication	Nombre et race des animaux	Coefficient de corrélation
Optique	Dinsmore 2008	117 - PH	0.75
	Bielmann 2010	273 - PH	0.71
	Quigley 2013	183 - PH	0.75
Numérique	Chigerwe 2008	171 - PH	0.64
	Bielmann 2010	273 - PH	0.73
	Cornille 2014	205 – VA et VL	0.55
	Morill 2015	58 - Jersey	0.79
	Bartier 2015	460 - PH	0.64

Les différentes études ayant déterminées des coefficients de corrélation sont récentes et rapportent une corrélation significative entre le %brix et la concentration en IgG dans le colostrum (Chigerwe 2008, Bielmann 2010, Quigley 2013, Morill 2015). Dans l'ensemble, ces

coefficients sont assez élevés et présentent moins de variabilité que ceux déterminés pour le pèse-colostrum. La majorité des publications à ce sujet utilisent des échantillons de colostrum issus de vaches laitières de race Prim Holstein. Morill (2015) a utilisé des colostrums de vaches laitières de race Jersey et rapporte un coefficient similaire aux études ayant utilisé des Prim Holstein. Cornille (2014) est le seul à avoir utilisé des échantillons provenant de vaches allaitantes (de différentes races) en plus des laitières. Il avance des coefficients plus faibles, ce qui peut amener à penser que la corrélation est plus faible pour les races allaitantes ou pour des mélanges de races.

Concernant le type de réfractomètre, les coefficients de corrélation sont similaires pour les réfractomètres numériques et optiques. Les coefficients de corrélation reliant les valeurs issues de ces deux types de réfractomètres sont élevés à très élevés, entre 0.89 et 0.98 (Bielmann 2010, Cornille 2014). Ceci indique que pour un même échantillon de colostrum, les valeurs de %brix obtenues avec un réfractomètre numérique ou optique sont similaires.

c) Performances du « test » au réfractomètre

La corrélation relativement élevée entre le %brix et la méthode de référence permet d'envisager l'utilisation du réfractomètre en tant que « test diagnostic » dans l'évaluation de la qualité du colostrum. Les différents auteurs ont défini des seuils « réfractométriques » en %brix permettant de discriminer les colostrums de bonne qualité, dont la concentration en IgG est supérieure à 50 g/L, et de mauvaise qualité.

Tableau VIII : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil %brix pour la concentration de 50 g/L d'IgG. Un test est positif identifie un colostrum de bonne qualité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (PH : Prim Holstein – VA : races allaitantes – VL : races laitières – Lact. 1 = primipares)

Type de réfractomètre	Publication	Race	Seuil (%brix)	Sensibilité	Spécificité
Optique	Dinsmore 2008	PH Lact. 1	23	0.85	0.56
	Bielmann 2010	PH	22	0.91	0.85
	Quigley 2013	PH	21	0.93	0.66
			22	0.86	0.79
Numérique	Chigerwe 2008	PH	22	0.78	0.75
	Bielmann 2010	PH	22	0.93	0.80
	Cornille 2014	VA + VL	19.9	0.99	0.45
			25	0.69	0.91
	Morill 2015	Jersey	18	0.92	0.95
	Bartier 2015	PH	23	0.83	0.66

Concernant la race Prim Holstein, les différents auteurs recommandent des seuils de 21 à 23 %brix pour les réfractomètres optiques et numériques (Chigerwe 2008, Biemann 2010, Quigley 2013, Bartier 2015). Les valeurs caractéristiques sont assez élevées et la sensibilité est systématiquement supérieure à la spécificité. Ces valeurs permettent d'utiliser le réfractomètre, aussi bien numérique qu'optique, pour évaluer la qualité du colostrum des vaches de race Prim Holstein (Chigerwe 2008, Biemann 2010, Quigley 2013, Cornille 2014, Bartier 2015). Le seuil proposé pour les vaches de Jersey de 18 %brix est bien plus faible que ceux recommandés pour les Prim Holstein (Morill 2015). Cependant, les valeurs caractéristiques sont élevées pour ce seuil, autant la sensibilité que la spécificité. Il est donc nécessaire d'être prudent dans l'utilisation du réfractomètre sur d'autres races que la Prim Holstein. En effet, il pourrait être nécessaire d'adapter le seuil de discrimination à la race, même si cette unique publication ne permet pas de conclure.

Ensuite, les valeurs de sensibilité et de spécificité peuvent être différentes selon que l'on considère des primipares et des multipares. En effet, des seuils de discrimination de 21 %brix ou encore de 23 %brix ont été avancés pour les primipares alors que le seuil de 22 %brix était optimal à la fois pour l'ensemble des colostrums ainsi que pour ceux des multipares (Dinsmore 2008, Biemann 2010).

L'absence d'étude dédiée exclusivement aux vaches allaitantes ne permet pas d'extrapoler l'utilisation du réfractomètre à ces dernières. Cornille (2014) ne sépare pas les types raciaux dans son étude et avance des valeurs « extrêmes » favorisant la sensibilité pour le seuil le plus faible (19.9 %brix) et la spécificité pour le plus élevé (25 %brix). Ces recommandations favorisent pour la première un nombre important de faux positifs, et pour la deuxième de nombreux faux négatifs.

En conclusion, le seuil de discrimination de 22 %brix peut être retenu pour les vaches de race Prim Holstein, autant les primipares que les multipares, avec des sensibilités et des spécificités élevées, permettant de faire du réfractomètre un outil performant.

La publication de Cornille est la seule à déterminer un seuil en %brix afin de différencier les colostrums qui ont une concentration en IgG1 supérieur à 100 g/L de ceux qui sont moins concentrés. Ceci est lié au fait que de nombreux colostrums proviennent de races allaitantes et sont donc plus riches en immunoglobulines. Il propose des seuils, au réfractomètre numérique, de 26 et 27 %brix avec des sensibilités et des spécificités de 0.82 – 0.58 et 0.58 - 0.83 respectivement.

d) Facteurs de variation

La congélation et la décongélation ne modifie pas les valeurs mesurées par le réfractomètre, numérique ou optique, et ce même si plusieurs cycles de congélation-décongélation se répètent (Biemann 2010, Morill 2015). Il en est de même pour la température de l'échantillon

de colostrum qui n'a pas d'influence sur la mesure au réfractomètre (Dinsmore 2008, Biemann 2008, Biemann 2010).

Cependant, la valeur mesurée au réfractomètre optique peut être sujette à variation de par la lecture effectuée par l'opérateur. En effet, la lecture peut nécessiter une interprétation individuelle lorsque la bande de transition de couleur est large, ce qui arrive dans 25% des cas (Dinsmore 2008). La largeur de la bande de transition de couleur est liée à la teneur en matières grasses du colostrum (Dinsmore 2008).

e) Réfractomètre numérique étalonné en g/L d'IgG

Récemment, des réfractomètres numériques directement étalonnés en g/L d'IgG ont vu le jour. Ils transforment directement l'indice de réfraction en g/L en utilisant une équation d'étalonnage. A l'inverse du pèse-colostrum, ce type de réfractomètre sous-estime la concentration du colostrum en IgG (Chigerwe 2014). L'appareil évalué par Chigerwe (2014) sous-estime la qualité du colostrum de 9.9 g/L d'IgG en moyenne, ce qui est considérable.

Tableau IX : Comparaison des outils d'évaluation de la qualité du colostrum dont la mise en œuvre est possible sur le terrain

Méthode de mesure	Avantages	Inconvénients
Pèse – colostrum	<ul style="list-style-type: none"> - Facile et rapide - Utilisation sur le terrain - Bon marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Performances moyennes (nombreux faux-positifs pour des seuils faibles) - Influence la température de l'échantillon - Influence des autres composants du colostrum - Influence de la race et de la saison de vêlage - Fragile - Volume assez important de colostrum nécessaire - Surestimation de la concentration en Ig
Réfractomètre optique	<ul style="list-style-type: none"> - Facile et rapide - Utilisation sur le terrain - Performant - Absence d'influence de la température ou de la congélation - Faible quantité de colostrum nécessaire - Bon marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Influence potentielle de la race - Interprétation de lecture pour les colostrums gras
Réfractomètre numérique	<ul style="list-style-type: none"> - Facile et rapide - Utilisation sur le terrain - Performant - Absence d'influence de la température ou de la congélation - Faible quantité de colostrum nécessaire - Absence d'interprétation individuelle - Assez peu onéreux 	<ul style="list-style-type: none"> - Influence potentielle de la race

4. Autres méthodes

Il existe peu d'autres méthodes de terrain d'estimation de la qualité du colostrum. A l'image du test existant pour le sérum des veaux, un test de coagulation des protéines colostrales au glutaraldéhyde a été développé par l'université de Liège (COL-IgG-Test[®]). C'est un test de terrain, où l'on suit le temps de coagulation de colostrum, dont les performances sont bonnes, voire excellentes. Cependant, on ne dispose que de peu de recul sur cet outil.

III. Le transfert d'immunité passive de la mère au veau : définition – enjeux – facteurs de variation et évaluation

A. Définition du transfert d'immunité passive (TIP)

La placentation épithéliochoriale des bovins explique l'imperméabilité de la barrière placentaire aux effecteurs de l'immunité, et en particulier aux immunoglobulines. Le veau naît donc quasiment agammaglobulinémique, c'est-à-dire sans anticorps circulants (Weaver 2000, Chase 2008, Beam 2009, Maillard 2013). En effet, le système immunitaire du veau est immature et naïf à la naissance et n'atteindra sa maturité complète qu'à l'âge de 6 mois (Chase 2008). L'immunité innée n'est pas développée complètement et l'immunité adaptative est presque inexistante (Chase 2008, Maillard 2013). Un veau privé de colostrum ne commence à produire des IgM qu'à partir de 4 jours et des IgG qu'à partir de 16 jours *post partum* (Chase 2008). La concentration en anticorps n'atteindra le niveau de l'adulte qu'à partir de 4 mois (Chase 2008).

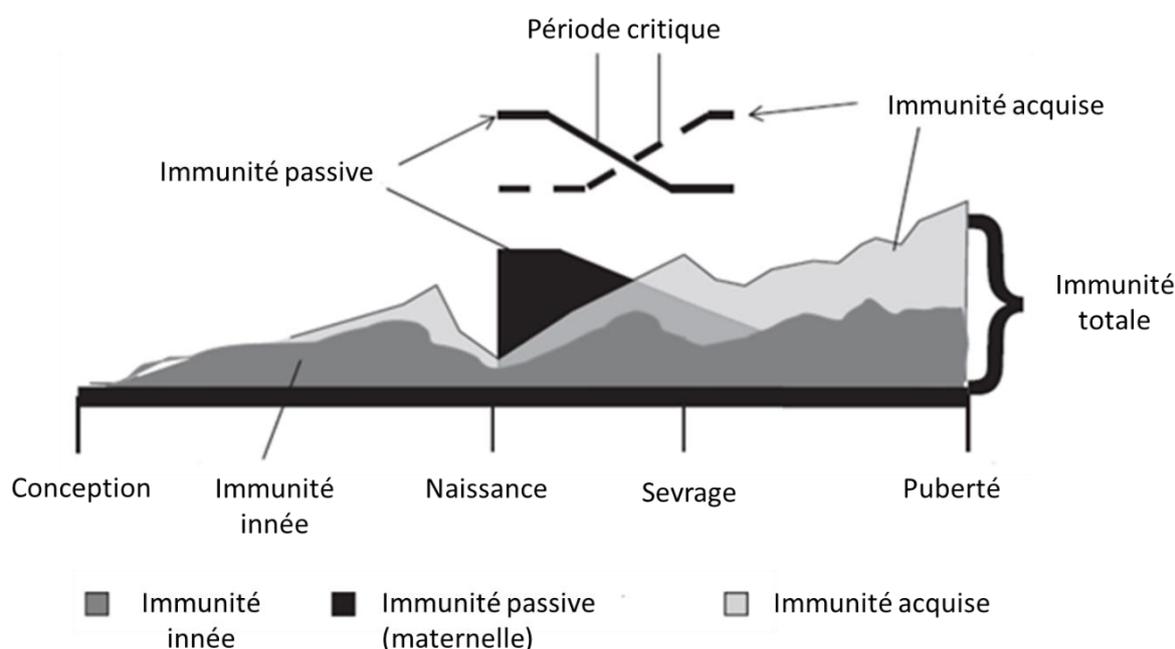


Figure 4 : Le développement du système immunitaire du veau *pre et post partum* (Chase 2008)

Le colostrum joue un rôle essentiel pour le veau à la naissance dans l'acquisition des défenses immunitaires. En plus de ses différents rôles, nutritionnels en particulier, le colostrum apporte au veau une immunité passive indispensable, qui fait la transition entre la protection maternelle au sein de l'utérus et son propre système immunitaire.

On peut schématiser le rôle immunologique du colostrum comme suit : d'une part, il fournit des effecteurs de l'immunité, d'autre part, à travers les cellules immunitaires et les cytokines, il stimule le développement et la maturation du système immunitaire du veau (Chase 2008). Concernant les effecteurs de l'immunité, on peut citer les immunoglobulines, les cellules

(polynucléaires neutrophiles et macrophages en particulier), les facteurs antimicrobiens protéiques et les cytokines. Face à cette complexité du transfert d'immunité, on oppose l'exigence sur le terrain de disposer de moyens de suivre simplement et à moindre coût le transfert d'immunité passive.

Ainsi, dans la plupart des publications scientifiques et dans les considérations de terrain, on réduit le transfert d'immunité passive au seul transfert d'immunoglobulines. On évalue la qualité du transfert d'immunité en fonction de leur concentration sérique. Ces dernières sont assez facilement dosables sur un échantillon de sang. Les IgG représentent quasiment 90% des immunoglobulines colostrales absorbées par le veau. **On évalue donc la qualité transfert d'immunité en considérant la concentration sérique en IgG du veau pendant la première semaine *post partum*.**

Des seuils de concentration d'IgG sérique ont été définis, plus ou moins arbitrairement, pour évaluer la réussite du TIP. La quasi-totalité des publications s'intéressant au transfert colostrale utilisent **le seuil de 10 g/L d'IgG dans le sérum pour déterminer la qualité du transfert d'immunité** (NAHMS 1992, Paré 1993, Filteau 2003, Quigley 2004-2009-2013, Beam 2009, Biemann 2010, Bartier 2015). Un veau présentant une concentration sérique en IgG inférieure à ce seuil sera donc en échec du transfert d'immunité passive (FPT). Ce seuil s'applique aux veaux laitiers sur lesquels portent la majorité des études.

Cependant, certaines publications avancent **un seuil de 16 g/L d'IgG** pour les veaux de race allaitante (Wittum 1995, Dewell 2006, Waldner 2009, Vandeputte 2011). Ce seuil plus élevé pour apprécier le transfert d'immunité est à mettre en relation avec les conditions d'élevages des veaux allaitants qui sont complètement différents des veaux laitiers. En effet, les veaux allaitants sont élevés au contact de leur mère, sans séparation de classes d'âges, faisant ainsi face à un challenge microbien plus intense.

B. Etat des lieux du TIP et pratiques des éleveurs

1. Prévalence de l'échec du transfert d'immunité passive (FPT)

De nombreuses études s'intéressent au transfert d'immunité passive chez les veaux laitiers et définissent des prévalences d'échec de ce transfert (FPT). Des chiffres sont disponibles en Amérique du Nord ainsi que dans différents pays européens. Selon les études, 4.75 à 60.5% des veaux souffrent de FPT (NAHMS 1993, Pare 1993, Tyler 1998, Weaver 2000, Beam 2009, Quigley 2009, Biemann 2010, Deelen 2014). On constate une importante variabilité de la prévalence de FPT selon les publications. Cette dernière s'explique principalement par l'échantillonnage adopté, ainsi que par les méthodes et les seuils choisis pour définir un échec du transfert colostrale. En prenant l'exemple des Etats-Unis, des collectes nationales de sérum ont été réalisées en 1991 et 2007, estimant respectivement le taux de FPT à 41% et 19.2% (NAHMS 1993, Beam 2009, Quigley 2009). Cette différence peut sembler montrer une amélioration du management du colostrum aux USA. Cependant, les critères d'échantillonnage n'étaient pas les mêmes dans ces deux études. En effet, en 2007 seuls les

veaux femelles qui semblaient en bonne santé et ayant bus du colostrum sont prélevés, alors qu'en 1991 tous les veaux étaient prélevés. L'amélioration des pratiques attenantes au transfert de l'immunité colostrale est donc à nuancer. Cependant, on peut conclure à une prévalence globalement élevée de l'échec du transfert de l'immunité colostrale en élevage laitier, en confrontant les différentes études.

En ce qui concerne l'élevage allaitant, peu d'études sont disponibles. Elles rapportent une prévalence de FPT variant de 14 à 19% (Filteau 2003, Dewell 2006, Waldner 2009). Même si ces chiffres paraissent plus faibles qu'en élevage laitier, le FPT concerne un nombre élevé de veaux, correspondant presque à 1 veau sur 5.

2. Pratiques des éleveurs

Peu d'études s'intéressent aux pratiques des éleveurs concernant le management de la prise colostrale. Deux études récentes permettent de comparer les pratiques des éleveurs français (Allix 2014) aux pratiques nord-américaines dans le domaine de l'élevage laitier (NAHMS 2007, Beam 2009). 92% des éleveurs français indiquent que le colostrum est indispensable au veau (Allix 2014). Cependant, face à cette conscience de l'importance du colostrum, les pratiques ne sont pas toujours en adéquation.

Concernant l'évaluation de la qualité du colostrum, 13% des éleveurs nord-américains et environ 25% des éleveurs français évaluent la qualité du colostrum avant de le distribuer aux veaux. Dans les deux cas, environ 50% des éleveurs estiment la qualité du colostrum à son aspect visuel. Cette pratique est très risquée du fait de la variabilité de la composition du colostrum en protéines et en matières grasses, qui influe énormément sur sa texture et son aspect visuel. Aux USA, 43.7% des éleveurs qui évaluent la qualité du colostrum, utilisent un pèse-colostrum (NAHMS 2007, Beam 2009, Allix 2014). Cette évaluation est essentielle, non seulement avant la distribution à un veau, mais aussi avant de stocker du colostrum par congélation. L'évaluation de la qualité du colostrum semble réalisée plus souvent dans les élevages de grande taille, par rapport aux élevages de taille plus modeste (Kehoe 2007).

Le management de la distribution du colostrum n'est traité que dans l'étude nord-américaine, qui est une étude à l'échelle des USA incluant 1816 veaux (NAHMS 2007, Beam 2009). On apprend que seuls 63.5% des éleveurs distribuent le colostrum « à la main », ce qui correspond à 25.3% des veaux qui sont livrés à eux-mêmes pour la prise colostrale. Concernant la méthode de distribution, 82.5% des veaux reçoivent le colostrum à la bouteille via une tétine et 13.9% des veaux subissent un sondage œsophagien. 23.3% des éleveurs donne moins de 2 litres de colostrum à la première buvée et 68.7% des veaux se voient distribuer moins de 3.78L. Enfin, le délai moyen entre la mise-bas et la buvée colostrale varie de 2.7 à 3.3 heures (NAHMS 2007, Kehoe 2007, Beam 2009). 0.8% des veaux se voient distribuer un colostrum préalablement thermisé (NAHMS 2007, Beam 2009).

Ainsi, on constate une certaine implication des éleveurs laitiers dans le transfert de l'immunité passive. Cependant, il reste une importante marge d'amélioration, tant dans l'évaluation de la qualité, que dans le management de la distribution du colostrum. Dans les élevages allaitants, la sécurisation de la prise colostrale fait souvent défaut. En effet, la traite puis la distribution du colostrum au veau allaitant est plus difficile qu'en élevage laitier. La traite de la vache allaitante peut s'avérer difficile, voire dangereuse du fait du manque d'habitude de ces dernières.

C. Enjeux du transfert d'immunité et conséquences du FPT

1. Morbidité et mortalité des veaux

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). L'effet du transfert d'immunité sur la santé des veaux est largement documenté, à la fois en élevage laitier et allaitant.

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).

a) Mortalité néonatale

Le taux de mortalité entre la mise bas et le sevrage est variable suivant les études mais peut atteindre 10 à 15% en Amérique du Nord sur des veaux allaitants, ce qui est considérable (Filteau 2003). D'une façon générale, l'échec du transfert d'immunité augmente le risque de mortalité des veaux. On peut citer l'étude nationale réalisée aux USA sur des veaux laitiers, qui définit l'échec du transfert d'immunité comme correspondant à une concentration sérique en IgG inférieure à 10 g/L. On se rend compte que le taux de mortalité est environ deux fois plus élevé chez les veaux souffrant d'échec du transfert colostrale (Figure 4), avec une incidence particulièrement élevée en période néonatale (environ 3 semaines *post partum*) (NAHMS 1993). Le risque de mortalité est quantifié comme étant 4.6 à 9.5 fois plus important lors d'échec du transfert d'immunité passive (Tyler 1999, Stilwell 2011).

Courbe de survie des veaux laitiers en fonction de leur concentration sérique en IgG

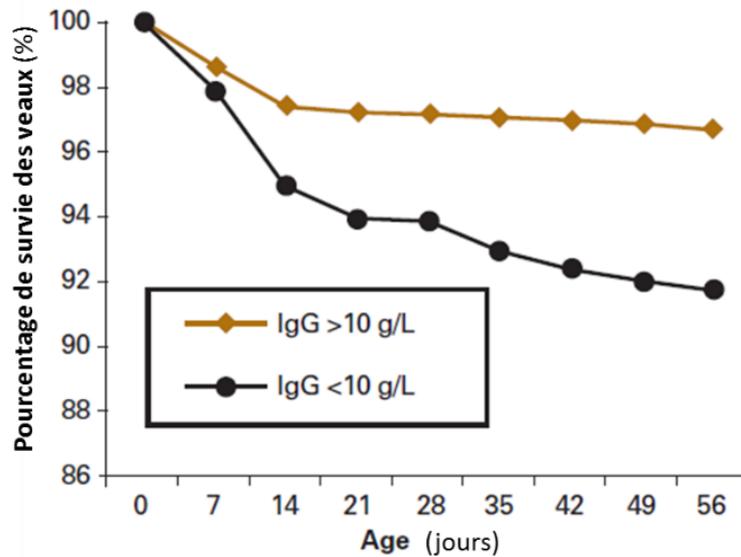


Figure 5 : Mortalité des veaux laitiers en fonction de leur statut vis-à-vis du TIP (NAHMS 1993)

Il en est de même pour les veaux allaitants. Ces derniers présentent un risque de mortalité beaucoup plus élevé lors d'échec complet du transfert colostrale (< 8 g/L d'IgG). Il est chiffré comme étant 4.5 fois plus élevé, correspondant à un odd ratio de 5.4 dans une autre publication (Wittum 1995, Dewell 2006).

Tableau X : Influence d'un échec total du transfert d'immunité ([IgG] < 8 g/L) sur la santé des veaux allaitants (Wittum 1995)

Influence du FPT sur l'état sanitaire des veaux	
Etat sanitaire	Odd ratio
Mortalité	5.4
Morbidité néonatale (3 semaines PP)	6.4
Morbidité avant sevrage	3.2

Il est important de noter que la mortalité des veaux, même en cas d'échec du transfert d'immunité, n'est pas nécessairement imputable à celui-ci. Des chercheurs sont parvenus à quantifier la part de l'échec de transfert d'immunité passive dans la mortalité des veaux. Ainsi, 53.6% de la mortalité est directement liée à l'échec du transfert d'immunité chez les veaux ayant une concentration en IgG inférieure à 10 g/L, ce qui correspond à 39% de la mortalité globale (NAHMS 1993, Tyler 1999).

b) Morbidité néonatale

Concernant la morbidité, le risque est accru lors d'échec du transfert d'immunité passive. Par exemple, un odd ratio de 6.4 associe la morbidité néonatale à une concentration sérique inférieure à 8 g/L chez les veaux allaitants (Wittum 1995). A ce seuil, on observe 21.7% de morbidité alors qu'elle n'est que de 10.1% lorsque la concentration en IgG dépasse les 16 g/L (Dewell 2006). Il en est de même en élevage laitier où la morbidité est 3 à 3.4 plus importante chez les veaux souffrant d'un échec du transfert d'immunité (Furman-Fratczack 2011, Stilwell 2011). On peut citer l'effet protecteur du transfert d'immunité passive vis-à-vis des diarrhées néonatales (Paré 1993).

En confrontant l'état de santé des veaux de race allaitante à la concentration en IgG, certains auteurs avancent un seuil de 24 g/L d'IgG, qui correspond à une valeur en élevage allaitant à partir de laquelle les risques de mortalité et de morbidité sont les plus faibles (Dewell 2006, Waldner 2009).

Cependant, toutes les études ne mettent pas en évidence de relation directe significative entre la concentration sérique en IgG et le taux de morbidité ou de mortalité (Filteau 2003, Chigerwe 2015). On peut émettre l'hypothèse d'un défaut de puissance de discrimination du fait d'un effectif trop faible, ce qui n'est pourtant pas le cas pour la publication de Chigerwe (2015). Ceci peut aussi résulter d'un biais lié à la réduction du transfert d'immunité passive à la seule concentration en IgG.

c) Pathologies digestives et respiratoires

Lorsqu'on s'intéresse de plus près aux effets du transfert d'immunité passive sur les pathologies les plus fréquentes du jeune, l'effet protecteur vis-à-vis des diarrhées ne fait aucun doute. Les résultats de l'étude de Furman-Fratczack (2011) présentés dans le tableau XI mettent en lumière une importante diminution de l'incidence des gastro-entérites lorsque la concentration sérique en IgG dépasse 10 g/L, avec un effet protecteur plus important en période néonatale.

L'association entre le transfert d'immunité passive et les pathologies respiratoires est moins instinctive. En effet, l'immunité locale étant prépondérante au niveau des poumons, la protection induite par le colostrum nécessite une sécrétion des IgG au niveau des alvéoles, alors que ce sont les IgAs qui assurent la protection muqueuse. Lorsque l'on distribue à des veaux du colostrum riche en IgG dirigées contre les agents pathogènes de l'appareil respiratoire (VRSB, *Manheimia haemolytica*), on observe une certaine protection des veaux vis-à-vis de ces pathologies (Belknap 1991, Makoschey 2012, Meyer 2015). Cependant, cette protection n'est que partielle, notamment en ce qui concerne *Manheimia haemolytica* (Belknap 1991, Makoschey 2012). La protection contre le VRSB semble meilleure : la prise colostrale diminue les signes cliniques, ainsi que les lésions pulmonaires et l'excrétion virale (Belknap 1991, Meyer 2015). Les résultats sont similaires pour l'étude de Furman-Fratczack

(2011) dans laquelle les colostrums ne sont pas enrichis en IgG dirigées contre les pathogènes respiratoires (Tableau XI).

Tableau XI : Influence du transfert d'immunité passive sur les pathologies néonatales (GENN = gastro-entérite néonatale – j = jour) (Furmann-Fratczack 2011)

	Concentration sérique en IgG des veaux 30-60 h <i>post partum</i> (g/L)			
	<5	5 - 10	10 - 15	>15
GENN 1-14j (%)	18.2	6	0	0
GE 15-150j (%)	37	34	28	27
Pathologie respiratoire 15-150j (%)	28	18	8	0

d) Conclusion

L'échec du transfert d'immunité passive a des conséquences majeures sur l'état sanitaire des veaux pendant la période néonatale. Les différentes études citées dans cette partie chiffrent l'augmentation du risque sanitaire lors d'échec du transfert colostrale et propose des valeurs assez différents. Cette relative disparité est liée en grande partie aux définitions différentes de l'échec du transfert d'immunité adoptées. Une méta-analyse récente synthétise et harmonise les chiffres avancés par ces publications (Raboisson 2016). Cette dernière corrige les différentes valeurs de façon à les rapporter à une concentration de 10 g/L pour définir un échec du transfert colostrale. Elle conclue à aux risques relatifs suivant : 2,1 - 1,9 - 1,8 et 1.5 pour la mortalité, la morbidité, les troubles respiratoires et digestifs respectivement (Raboisson 2016).

2. Effet sur les productions à long terme

Le transfert colostrale de la mère au veau, en plus des effets sur la santé des veaux, a une influence importante sur leur production, à plus ou moins long terme (Robison 1988, DeNise 1989, Faber 2005, Furman-Fratczack 2011, Mastellone 2001, Van Amburgh 2011).

Concernant la croissance des veaux, on constate une influence significative du transfert colostrale sur le gain moyen quotidien (GMQ). En effet, les veaux ayant un transfert adéquat ont un GMQ significativement plus élevé (Robinson 1988, Faber 2005, Furman-Fratczack 2011, Mastellone 2011, Van Amburgh 2011). Cette augmentation du GMQ semble être observée plus ou moins tardivement au cours de la croissance des veaux. Furman-Fratczack (2011) ne la constate qu'après 6 mois, alors que les autres publications rapportent cette augmentation dès les premières semaines et jusqu'à 17 mois (Robinson 1988, Faber 2005, Mastellone 2011, Van Amburgh 2011). Cette augmentation du GMQ est de l'ordre de 18 à 29% dans les

publications récentes, ce qui peut s'avérer considérable (Faber 2005, Van Amburgh 2011). L'augmentation de la croissance semble être encore plus importante après le sevrage (Van Amburgh 2011). De plus, on constate cet effet que l'on prenne en compte la concentration sérique en Ig chez le veau ou le volume de colostrum de bonne qualité consommé (2 litres ou 4 litres) pour évaluer la qualité du transfert d'immunité (Robison 1988, Faber 2005, Mastellone 2011, Van Amburgh 2011). Cette observation a deux intérêts : d'une part en engraissement, d'autre part concernant l'âge au premier vêlage. En effet, l'âge à la première insémination animale est significativement plus faible lorsque le transfert d'immunité est adéquat (Furmann-Fratczack 2011).

En élevage laitier, on constate une influence du transfert colostrale, qu'il soit estimé par le dosage des Ig sériques du veau ou par le volume de colostrum distribué, sur la production laitière future des veaux (DeNise 1989, Faber 2005). Les veaux présentant un transfert d'immunité adéquat produisent significativement plus de lait en première et en deuxième lactation que les veaux en échec de transfert (DeNise 1989, Faber 2005). DeNise (1989) constate cette augmentation de production laitière chez les veaux ayant une concentration sérique en Ig supérieure à 12 g/L, et la quantifie à 8.5 kg de lait supplémentaire pour une lactation de 305 jours et ce pour chaque gramme d'Ig dans le sérum supérieur à 12 g/L à 24h *post partum*. Les résultats sont encore plus spectaculaires dans l'étude de Faber (2005).

Tableau XII : Production laitière ramenée à 305j en première et deuxième lactation des vaches selon la quantité de colostrum de bonne qualité ingérée dans l'heure suivant la mise bas (Faber 2005)

Traitement	Production 1 ^{ère} lactation	Production 2 ^{ème} lactation
2L colostrum (>50 g/L Ig)	8952	9642
4L colostrum (>50 g/L Ig)	9907	11294
Augmentation production	+10%	+15%

Faber (2005) met en évidence une augmentation considérable de la production laitière en première (10%) et en deuxième (15%) lactation pour des vaches ayant bu une quantité importante (4 litres) de colostrum dans l'heure suivant la mise bas. Même s'il faut relativiser ces chiffres du fait d'un nombre trop faible d'études, les effets à long terme sur la production laitière sont une réalité.

Van Amburgh (2011) relie l'augmentation des productions à une ingestion supérieure et une meilleure efficacité alimentaire chez les animaux avec un bon transfert d'immunité. On peut expliquer ceci par la quantité importante d'hormones et de facteurs de croissance présents dans le colostrum, avec en particulier un effet sur le développement du tube digestif (Faber 2005). La concentration sérique en Ig n'est alors dans ce cas qu'un indicateur de la quantité de facteurs de croissance ingérée. En effet, l'augmentation des productions s'observe aussi bien lorsque l'on suit la concentration en Ig ou le volume de colostrum ingéré.

La prise en considération des conséquences sur la santé et les productions d'un échec du transfert d'immunité passive permettent d'évaluer son coût à 60€ pour un veau laitier et 80€ pour un veau allaitant (Raboisson 2016). Ceci est considérable à l'échelle d'un élevage.

D. Absorption des immunoglobulines et facteurs de variations

1. Absorption intestinale des immunoglobulines d'origine colostrale

L'absorption des immunoglobulines colostrales dans le tube digestif du nouveau-né constitue une étape cruciale du transfert d'immunité passive. Elle permet aux anticorps maternels d'atteindre la circulation sanguine du veau.

Les immunoglobulines d'origine maternelle sont absorbées au contact de la muqueuse intestinale du veau par un mécanisme de pinocytose (Weaver 2000, Quigley 2007, Godden 2008, James 2010, Singh 2011, Maillard 2013). Il consiste en la prise en charge de macromolécules protéiques au niveau du pôle apical des entérocytes par des vacuoles de transport, et un relargage dans la circulation lymphatique au niveau du pôle basal de ces cellules par exocytose (Weaver 2000, Quigley 2007, James 2009, Maillard 2013). Cette absorption est non sélective et a lieu essentiellement dans le jéjunum et en partie proximale de l'iléon (Weaver 2000, James 2009, Singh 2011). Cette asélectivité de l'absorption semble s'appliquer surtout aux isotypes d'immunoglobulines alors qu'une certaine sélectivité discriminerait les anticorps des autres macromolécules protéiques (James 2009).

L'absorption des immunoglobulines se déroule sur une période limitée dans le temps. 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. **La closure complète de la muqueuse a lieu environ 24 heures après la naissance**, et se fait de façon progressive (Quigley 2007, Godden 2008, James 2009, Singh 2011, Maillard 2013). Il semblerait que la période d'absorption soit plus courte pour les IgG (21 heures) que pour les IgA et les IgM (23 heures) (Singh 2011). Cependant, il existe une certaine variabilité individuelle : la majorité des *closure* intervient entre 15 et 48 heures après la mise-bas (Maillard 2013). D'autre part, une distribution retardée du premier repas de colostrum entraîne un décalage de l'arrêt de l'absorption à 36 heures *post partum* (Godden 2008). 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).

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 2011). L'AEA a été définie initialement pour les IgG mais elle peut se décliner aux autres isotypes. Elle se calcule de la façon suivante :

$$AEA (\%) = \frac{[IgG]_{sérique} (g.L^{-1}) \times Volume\ sanguin(L)}{Quantité\ IgG\ ingérée (g)}$$

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 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. L'AEA correspond bien à un taux d'absorption qui est apparent. En effet, on ne prend pas en compte dans l'AEA la possibilité de sécrétion des anticorps dans d'autres compartiments à partir du compartiment sanguin après une période de transit dans ce dernier (Quigley 2007). On connaît des mécanismes de sécrétion inverse des immunoglobulines après leur absorption, en particulier au niveau des muqueuses, respiratoires mais aussi digestives (Maillard 2013). On considère que la quantité d'anticorps transférés en dehors de la circulation sanguine représente jusqu'à 50% de la masse absorbée (Quigley 2007). Cette considération limiterait théoriquement l'AEA à 50%.

En s'appuyant sur l'AEA, Besser (1985) a mis en évidence une diminution du taux d'absorption avec l'augmentation de la quantité d'immunoglobulines ingérée. Cette constatation semble indiquer une certaine saturabilité du mécanisme de transfert des Ig de la lumière intestinale vers la circulation sanguine (Besser 1985).

2. Facteurs influençant l'absorption des immunoglobulines

La concentration en IgG sérique, qui détermine le succès ou l'échec du transfert d'immunité passive (FPT), dépend de trois principaux facteurs (Quigley 2007) :

- La quantité d'IgG ingérée
- Le volume sanguin circulant du veau
- Le taux d'absorption – AEA

La quantité d'IgG ingérée dépend directement de la qualité du colostrum et s'obtient en multipliant sa concentration en IgG par le volume ingéré.

Le volume sanguin circulant est plus difficile à évaluer. Il est différent de celui des adultes. Il est exprimé en pourcentage du poids vif du veau et différents facteurs de multiplications à appliquer au poids sont avancés. Le volume sanguin varie de 6.5 à 9.3% du poids vif du veau selon les publications (Quigley 2007, Singh 2011). Au bilan, la plupart des auteurs admettent que **le volume sanguin d'un veau correspond à 9% de son poids vif.**

De nombreux facteurs influencent le taux d'absorption des anticorps ingérés. Nous allons les citer et les discuter ci-après.

a) Délai entre la naissance et la prise colostrale

Le délai entre la mise-bas et le premier repas de colostrum est le facteur majeur qui affecte l'absorption des Ig et donc le transfert d'immunité passive (Singh 2011, Godden 2008). En effet, on constate une diminution progressive de l'AEA de la naissance à la *closure* de la muqueuse digestive (Quigley 2007, Singh 2011, Maillard 2013). Le tracé de décroissance de l'AEA est peu documenté. Cette décroissance est décrite comme étant linéaire ou curviligne selon les publications, ce qui est représenté sur la figure ci-dessous (Godson 2003, Quigley 2007, Godden 2008, Maillard 2013). Certaines publications envisagent même une décroissance curviligne après un plateau pendant lequel l'AEA reste constant de 4 à 6 heures (McGuirk 2004, Godden 2008, Maillard 2013). Cependant, ce dernier type de tracé semble résulter d'un pas trop important entre les mesures.

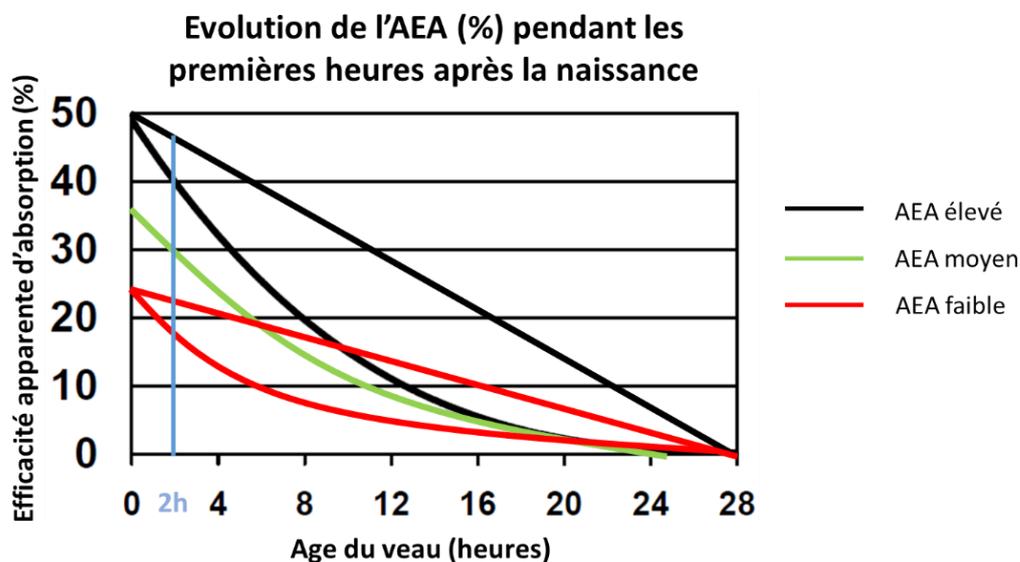


Figure 6 : Influence du délai de distribution du colostrum sur le taux d'absorption des immunoglobulines (Quigley 2007, Lang 2008).

Il existe une forte variabilité individuelle de l'AEA (Maillard 2013). Ainsi, on constate dans la figure... que 2 heures après la naissance du veau, qui correspond à l'objectif du timing de la distribution de colostrum, que l'AEA peut varier de 15 à 45%. Ceci expliquerait l'échec paradoxal du transfert d'immunité pour certains veaux recevant rapidement un colostrum de bonne qualité.

A cette décroissance de l'AEA avec l'âge au premier repas de colostrum, correspond une diminution simultanée et logique de la concentration sérique en IgG décrite par la courbe ci-dessous (Godson 2003). Dans cet exemple, on constate qu'une distribution colostrale après 7.5 heures *post partum* ne permet plus d'atteindre le seuil de 10 g/L d'IgG recommandé en élevage laitier. Quigley (2007) avance une diminution de 2 g/L la concentration sérique maximale en IgG pour 30 minutes de décalage de la prise colostrale par rapport à la naissance.

Une distribution du premier repas de colostrum retardée semble décaler la *closure* de la muqueuse à 36 heures *post partum* (Weaver 2000, Godden 2008). Cependant, l'absorption résiduelle des Ig entre 24 et 36h *post partum* ne permet d'augmenter que peu la concentration sérique en Ig et n'évite pas l'échec de transfert d'immunité (Figure 6).

Influence de l'âge au premier repas de colostrum sur le transfert d'immunité passive

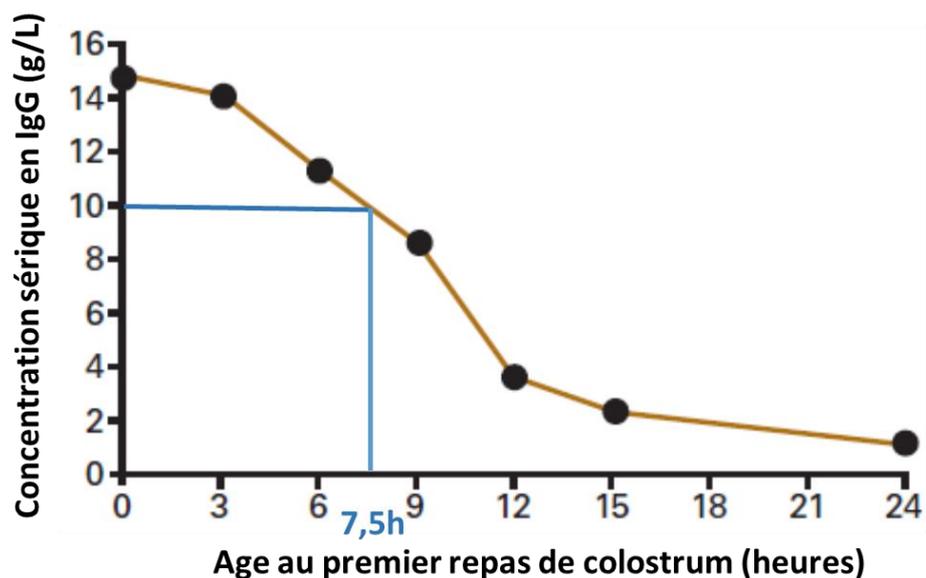


Figure 7 : Concentration sérique en IgG en fonction de l'âge lors de la prise colostrale. Chaque point correspond à la concentration sanguine en IgG 24 heures *post partum* lorsque le repas est distribué à l'âge en abscisse (Godson 2003)

Différents éléments permettent d'expliquer cette diminution du taux d'absorption des Ig pendant les 24 premières heures suivant la mise bas (Weaver 2000, Quigley 2007, James 2009) :

- La « maturation » de la muqueuse intestinale, avec le remplacement des cellules épithéliales fœtale par des entérocytes matures, entraîne une diminution des capacités d'absorption de la muqueuse. En effet, ces cellules matures sont incapables de réaliser la pinocytose des immunoglobulines.
- La colonisation bactérienne progressive du tube digestif diminue les capacités d'absorption des Ig en occupant les sites d'attachement au niveau du pôle apicale des entérocytes et en fixant directement certains anticorps ayant des épitopes avec une affinité pour ces bactéries.
- La mise en place du système enzymatique digestif, avec en particulier des protéases, entraîne une dégradation des Ig qui ne peuvent plus être absorbées sous forme active.

b) Qualité du colostrum

La qualité du colostrum est un élément majeur du transfert d'immunité passive. Elle est définie ici comme correspondant à sa concentration en IgG. 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 2007, Maillard 2013).

Cependant, on observe une certaine adaptation du veau aux colostrums de mauvaise qualité. En effet, malgré une quantité globale d'Ig absorbée plus faible lorsque le colostrum est de mauvaise qualité (faible quantité d'Ig ingérée), l'AEA est plus important pour les colostrums dont la concentration en IgG est faible (Besser 1985). Besser (1985) rapporte un AEA de 48.4% pour des colostrums ayant une concentration en IgG1 inférieur à 20 g/L, alors que l'AEA est de 22.8% pour des colostrums titrant à plus de 70 g/L. Même si cette particularité n'assure pas le succès du transfert d'immunité, elle permet de limiter les effets délétères de la distribution d'un colostrum de mauvaise qualité en l'exploitant au mieux.

c) Statut métabolique du veau

Le statut métabolique du veau nouveau-né peut se retrouver altéré après un part dystocique ou prolongé. Le veau peut alors souffrir d'acidose métabolique ou respiratoire (Weaver 2000, Quigley 2007, Guélou 2013, Maillard 2013). Cette dernière est susceptible de persister pendant 24 heures et est significativement reliée à une mortalité périnatale plus élevée (Quigley 2007).

On constate une diminution de la concentration sérique en IgG et une augmentation de la prévalence d'échec du transfert d'immunité chez les veaux souffrant d'acidose (Weaver 2000, Quigley 2007, Guélou 2013). Cependant, toutes les publications ne sont pas unanimes sur l'effet de l'acidose sur les capacités d'absorption. Alors que certains auteurs mettent en évidence une diminution significative de l'AEA chez les veaux en acidose, d'autres la trouvent inchangée (Weaver 2000, Quigley 2007). L'effet constaté des troubles métaboliques sur le transfert d'immunité passive pourrait être indirect. Dans ce cas, la prise colostrale retardée et la consommation d'un plus faible volume de colostrum lors de la première tétée observée chez les veaux en acidose, pourrait à eux seuls expliquer cette diminution du transfert d'immunité (Weaver 2000, Quigley 2007, Godden 2008, Guélou 2013, Maillard 2013).

d) Stress thermique

Les conditions climatiques exercent une certaine influence sur l'absorption des Ig, même si elle est limitée. En effet, on constate une diminution de l'AEA lorsque le veau nouveau-né est

exposé à un froid rigoureux à « extrême » (Quigley 2007, Godden 2008, Singh 2011, Maillard 2013). L'AEA est diminué aussi en cas de fortes chaleurs (Singh 2011). Ceci explique que les taux d'absorption les plus faibles sont enregistrés en février et juin (Singh 2011).

Il semblerait qu'en plus de l'effet direct sur l'absorption, le stress thermique ait un effet indirect sur le transfert d'immunité en retardant la station debout et la première tétée (Maillard 2013).

e) 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. Les études qui s'intéressent à l'influence de la contamination bactérienne sur l'absorption des immunoglobulines concernent les veaux laitiers, peu de publications s'intéressent aux veaux allaitants.

Une concentration élevée en bactéries dans le colostrum interfère de manière importante avec l'absorption des immunoglobulines (Johnson 2007, Godden 2008, Elizondo-Salazar 2009, James 2009, Godden 2012, Gelsinger 2014, Bruyère 2015, Kryzer 2015), en plus d'être potentiellement pathogène (Johnson 2007). Les publications qui traitent de ce sujet utilisent une méthode de traitement thermique du colostrum afin d'en réduire la concentration en germes totaux. Elles comparent ensuite l'AEA et la concentration sérique en IgG pour des veaux nourris avec un colostrum soit faiblement, soit fortement contaminé avec des bactéries mais avec une quantité d'immunoglobulines égale. Les résultats sont illustrés dans le diagramme ci-dessous (Figure 7). La différence de concentration en germes totaux est de l'ordre d'un rapport de 32 à 100 fois entre les colostrums thermisés et non thermisés (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Godden 2012, Kryzer 2015).

Les différentes études convergent sur une diminution significative de l'AEA lorsque le colostrum est fortement contaminé par des bactéries (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsinger 2014, Kryzer 2015). Il en résulte une concentration sérique en IgG significativement plus faible pour les veaux nourris avec un colostrum à forte contamination bactérienne (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Godden 2012, Gelsinger 2014, Kryzer 2015). Cette différence de concentration en IgG est significative aussi sur le plan biologique puisqu'elle est de l'ordre de 20% (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsinger 2014, Kryzer 2015).

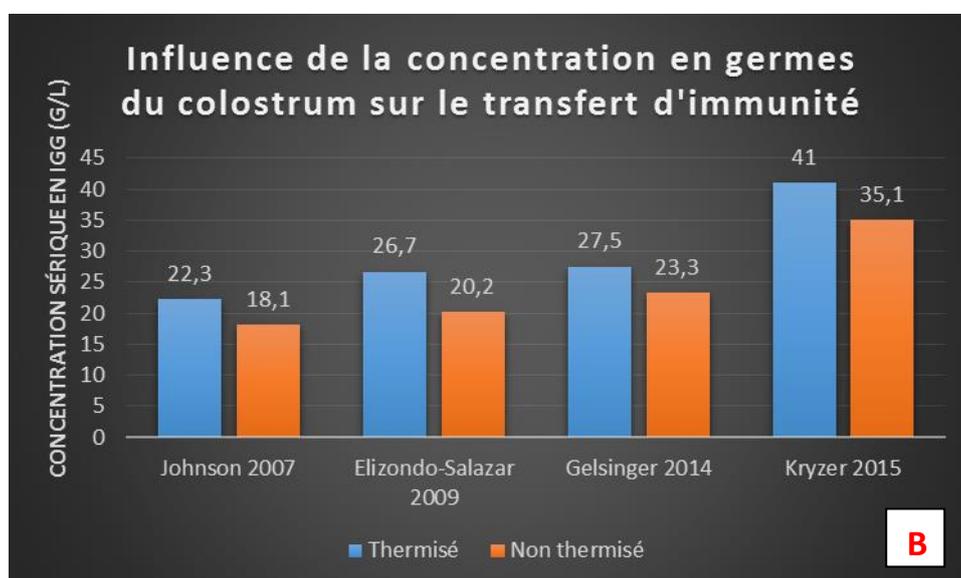
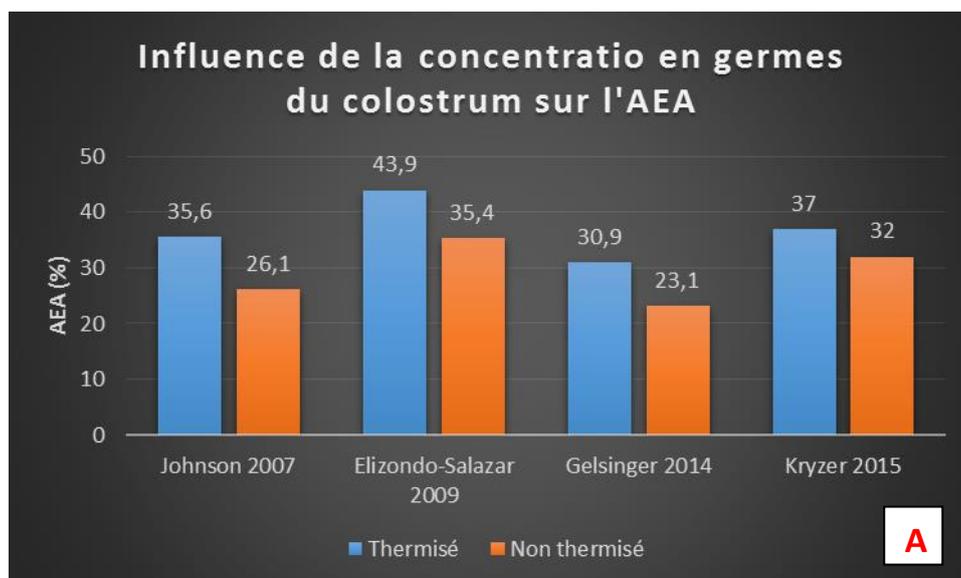


Figure 8 : Influence de la concentration bactérienne, par l'intermédiaire du traitement thermique, sur l'AEA (A) et la qualité du transfert d'immunité passive (B). La différence de concentration bactérienne totale entre les colostrums thermisés ou non est de l'ordre de 1.5 à 2 log₁₀ (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsinger 2014 et Kryzer 2015)

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

- 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 (figure ... ci-dessous) 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 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.

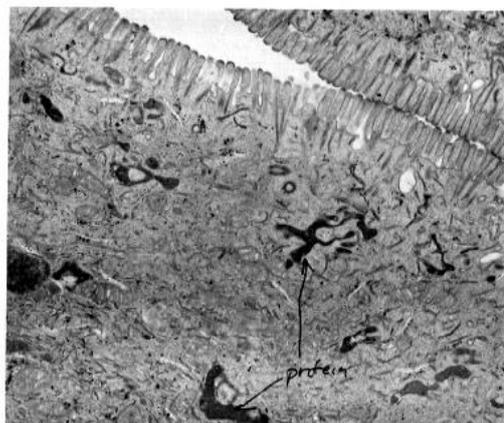
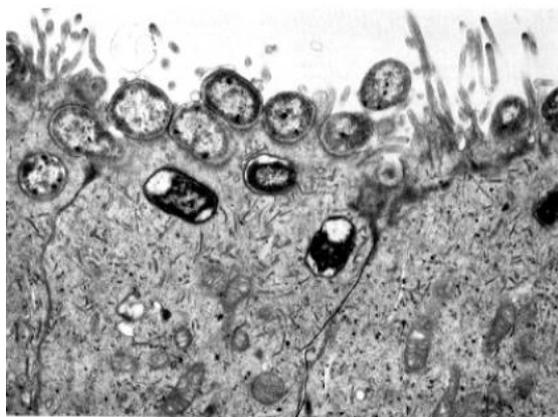


Figure 9 : Aspect de la bordure en brosse des entérocytes de veau, infecté par un colibacille et privé de colostrum à gauche, infecté par un colibacille après un premier repas de colostrum à droite (James 2009)

On retrouve cette diminution de l'absorption des immunoglobulines aussi bien lorsque l'on considère les germes totaux que les coliformes (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Godden 2012, Gelsing 2014, Kryzer 2015). Godden (2012) met en évidence une meilleure corrélation entre l'absorption des anticorps et la concentration en coliformes totaux, que lorsque l'on considère les germes totaux. Les coliformes totaux correspondent donc au meilleur indicateur de la qualité bactériologique du colostrum sur le plan du transfert d'immunité passive.

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** (Morill 2012, Bruyère 2015, Kryzer 2015). Cependant, peu de colostrums répondent à cette norme. En effet, selon les publications, 45.2 à 93% des échantillons de colostrum titrent à plus de 100 000 ufc/ml (James 2009, Morill 2012, Bruyère 2015). Une étude en Amérique du Nord ne rapporte que 39% des échantillons de colostrum avec une concentration en IgG supérieure à 50 g/L et une contamination en germes totaux inférieure à 100 000 ufc/ml (Morill 2012). Cependant, ces seuils sont assez artificiels et ne font pas l'unanimité. En effet, dans les études de Johnson (2007) et Elizondo-Salazar (2009), à la fois les colostrums fortement et faiblement contaminés ont une concentration en germes totaux inférieure à 100 000 ufc/ml. On observe néanmoins une absorption significativement plus élevée pour les échantillons les moins contaminés

(Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009) (Figure ...). On peut donc en conclure qu'il faut essayer de **diminuer au maximum la contamination bactérienne du colostrum afin de maximiser l'AEA**, en ne se limitant pas à des seuils définis dans certaines publications.

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.

f) Présence de la mère

La présence de la mère augmente l'efficacité de l'absorption des Ig chez le veau nouveau-né (Weaver 2000, Godden 2008, Maillard 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 (Godden 2008).

g) Race

La race du veau influence les capacités d'absorption du veau nouveau-né. Les veaux de race allaitante ont des capacités d'absorption supérieures à celles des veaux laitiers (Maillard 2013).

Au sein des races laitières, on observe aussi des différences dans les capacités d'absorption. Les informations disponibles concernent les races Prim Holstein et Jersiaise. Plusieurs études rapportent un AEA plus élevé pour les veaux de race Jersey que pour les veaux Holstein (Quigley 2007, Villaroel 2013). Cette différence est non seulement statistiquement significative mais aussi biologiquement intéressante puisque la différence d'AEA est de 24% entre les veaux Jersey et Prim Holstein (Quigley 2007). Il en résulte une concentration sérique en IgG deux fois plus importante pour les veaux Jersey avec une gestion du transfert d'immunité similaire (Villaroel 2013).

h) Concentration en sélénium dans le colostrum

Le sélénium est un oligoélément d'importance majeure pour la santé du veau, particulièrement en participant au fonctionnement du système immunitaire (Enjalbert 2009). Le sélénium traverse la barrière placentaire et est présent en quantité importante dans le colostrum (Enjalbert 2009). La quantité de sélénium dans le colostrum peut modifier l'absorption des Ig. En effet, l'augmentation de la concentration en sélénium dans le colostrum permet d'augmenter l'AEA (Swecker 1995, Awadeh 1997, Kamada 2007, Enjalbert 2009, Guélu 2013). Kamada (2007) rapporte une augmentation de 42% de la concentration sérique en IgG lorsque l'on incorpore du sélénium à hauteur de 3 ppm dans le premier repas de colostrum. Une telle concentration est d'ordre pharmacologique et ne peut être obtenue dans des conditions naturelles (Guélu 2013).

Cependant, l'addition de sélénium dans la ration des vaches en fin de gestation augmente la concentration du colostrum en sélénium (Pavlata 2004, Moeini 2011, Hall 2014). Plusieurs publications mettent en évidence un AEA plus élevé pour des veaux dont le colostrum provient d'une vache supplémentée en sélénium (Swecker 1995, Awadeh 1997, Hall 2014).

Il est donc essentiel de supplémenter les vaches en sélénium en fin de gestation pour la santé de leurs veaux, tant pour son effet sur le système immunitaire que pour l'absorption des immunoglobulines.

Cet effet du sélénium sur l'absorption des anticorps s'expliquerait par son action au niveau de l'enzyme de dé-iodation de la tétraiodothyronine (T4) en triiodothyronine (T3) (Guérou 2013). Une forte concentration colostrale en sélénium favoriserait la transformation de la T4 en T3. Or, cette dernière favoriserait l'efficacité de l'absorption des Ig (Guérou 2013).

i) Pooling

Le « pooling » désigne le fait de mélanger plusieurs colostrums issus de la première traite de différentes vaches et d'en constituer une base pour le repas de colostrum des différents veaux nouveau-nés. Cette pratique est courante dans les fermes avec de nombreux vêlages ou lorsque les vêlages sont groupés.

Il résulte de la distribution aux veaux d'un mélange de colostrums, une concentration sérique en IgG plus faible (Weaver 2000). Cette observation est en réalité liée à un effet indirect sur la quantité d'immunoglobulines ingérées et sur les capacités d'absorption. Un pool de colostrums est significativement moins concentré en IgG et contient significativement plus de bactéries (Morill 2012). Les colostrums produits en grands volumes ont tendance à être de moins bonne qualité que ceux produits en petite quantité ce qui entraîne un effet de dilution des bon colostrums par les mauvais (Weaver 2000). D'autre part, le fait de mélanger des colostrums et de les stocker augmente la contamination et le développement bactérien (Morill 2012). Il en résulte une quantité d'Ig ingérée plus faible et une diminution de leur absorption du fait de la contamination bactérienne. Il est donc vivement déconseillé de mélanger les colostrums avant de les distribuer aux veaux.

E. Evaluation du transfert d'immunité passive – Mise en évidence d'un échec du transfert d'immunité passive

L'appréciation du transfert d'immunité passive, et donc de l'absorption des immunoglobulines, s'appuie sur le dosage ou du moins sur l'estimation de la concentration en immunoglobulines G (IgG) dans le sang des veaux. Différentes méthodes permettent de statuer sur le transfert d'immunité : les méthodes de dosage des IgG et les méthodes d'estimation indirecte de la concentration en IgG. Parmi ces dernières, certaines sont utilisables sur le terrain, au sein de l'élevage, et ce sont celles-ci qui vont nous intéresser particulièrement.

1. Prélèvement biologique

La majorité des méthodes utilisées pour évaluer le transfert d'immunité passive utilisent comme matrice le sérum, la réalisation d'un prélèvement de sang sur un tube sec est donc nécessaire (Weaver 2000, Hogan 2015). Le prélèvement de sang constitue une difficulté dans l'évaluation du transfert d'immunité par rapport à l'estimation de la qualité du colostrum. Le suivi du transfert d'immunité nécessite donc l'intervention d'un vétérinaire, ou une formation des éleveurs à la ponction veineuse.

Le prélèvement de sang doit être réalisé sur un veau sain (Godden 2008, Hogan 2015). En effet, on observe pour certaines pathologies des modifications du sérum. Ces modifications concernent tout particulièrement le taux de protéines totales sur lequel se base plusieurs méthodes d'estimation du transfert d'immunité. On peut citer les gastro-entérites néonatales qui peuvent être responsables d'une hypo protéinémie consécutives aux pertes par la diarrhée et au défaut d'absorption intestinale. De même, certaines pathologies sont susceptibles d'augmenter la concentration en protéines totales par le biais des protéines de l'inflammation. Il en est de même pour les méthodes de dosage des IgG (IDR). Le processus pathologique peut entraîner une consommation des anticorps issu du transfert d'immunité passive et ainsi résulter en une concentration sérique en IgG faible, sans pour autant qu'elle soit due à un défaut de transfert colostrale.

Concernant le moment du prélèvement, **la prise de sang doit être réalisée entre 24 heures et 7 jours post partum** (Wallace 2006, Godden 2008, Maillard 2013, Hogan 2015). Le prélèvement ne doit ni intervenir avant la *closure* de la muqueuse digestive (Morill 2013), ni trop tardivement puisque la production endogène d'Ig pourrait entraîner une surestimation du taux d'anticorps issu du transfert d'immunité passive. Certains auteurs, pour se rapprocher au plus près de transfert passif, conseillent de réaliser le prélèvement entre 24 à 48 heures *post partum* (Godson 2003, Lang 2008).

2. Immunodiffusion radiale (IDR)

L'IDR est une technique de laboratoire permettant de doser précisément les IgG dans le sérum des veaux nouveau-nés. Cette technique est considérée comme la méthode de référence, dans le dosage immunoglobulines sériques, de la même façon que pour le colostrum (Godden 2008, Morill 2013, Deelen 2014, Elsohaby 2015, Hogan 2015, Thornhill 2015). Les autres méthodes d'estimation du transfert d'immunité passive seront évaluées en les comparant à l'IDR.

Cette méthode est basée sur l'immuno-précipitation des anticorps que l'on cherche à doser. Elle fonctionne selon le même principe que celle décrite précédemment pour doser les immunoglobulines colostrales. Certains kits de dosage permettent de doser aussi bien les immunoglobulines colostrales que sériques, en adaptant les solutions étalons.

Cette méthode présente l'avantage d'être quantitative, fiable et très précise. Cependant, elle est assez onéreuse et 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.

3. La réfractométrie

a) Principe de fonctionnement et d'utilisation

Le réfractomètre est un outil dont l'utilisation est largement documentée dans l'estimation du transfert d'immunité passive. Il fonctionne selon le même principe que celui qui a été décrit précédemment pour le colostrum. L'indice de réfraction de la solution placée sur le réfractomètre est déterminé et est transformé à l'aide d'une équation de calibration en une grandeur que nous cherchons à déterminer. Ce sont les solides dissouts, et en particulier les protéines sériques, qui confèrent l'indice de réfraction au sérum testé. Or, les Ig sont les protéines qui sont largement majoritaires dans le sérum des veaux nouveau-nés (Deelen 2014, Wallace 2006).

En fonction de l'équation de calibration, le réfractomètre est utilisé pour déterminer la concentration en protéines totales (PT en g/L) ou le degré brix (%brix) de la solution. Le réfractomètre peut être électronique ou optique. La plupart des réfractomètres optiques évalués dans les publications déterminent le taux de protéines totales du sérum alors que la majorité des réfractomètres numériques le déterminent le degré brix.

b) Evaluation de la concentration en protéines totales (PT) déterminée par réfractométrie dans l'estimation du transfert d'immunité

Les immunoglobulines représentent une part importante des protéines dans le sérum des veaux nouveau-nés (Wallace 2006, Deelen 2014). De plus, comme indiqué précédemment, la

quasi-totalité des Ig proviennent du transfert colostral, et donc de la mère, avant 7 jours d'âge. Il a donc été envisagé pour la première fois en 1971 par McBeath d'utiliser la concentration sérique en PT pour estimer celle d'IgG.

Plusieurs publications évaluent la véracité de l'utilisation de la concentration sérique en PT des veaux, déterminée par réfractométrie, dans l'estimation du transfert d'immunité passive. La concentration en PT est comparée à celle d'IgG, dosée par IDR, afin de calculer un coefficient de corrélation linéaire.

Tableau XIII : Coefficients de corrélation linéaire reliant la concentration en PT à celle d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières)

Type de réfractomètre	Publication	Effectif et type racial	Coefficient de corrélation
Optique	McBeath 1971	185 – L	0.72
	Tyler 1996	242 – L	0.87
	Elizondo-Salazar 2009	30 – L	0.75
	Elsohaby 2015	203 – L	0.74
Numérique	Cornille 2014	255 – A et L	0.65
	Deelen 2014	400 – L	0.93

Les coefficients de corrélation linéaire reliant la concentration sérique de PT à celle d'IgG révèlent une corrélation significative entre ces grandeurs (McBeath 1971, Tyler 1996, Elizondo-Salazar 2009, Cornille 2014, Deelen 2014, Elsohaby 2015). Ces coefficients sont globalement élevés mais présentent d'importantes variations selon les études. Des publications récentes rapportent la plus forte corrélation ($r = 0.93$ – Deelen 2014) et la plus faible ($r = 0.65$ Cornille 2014). De plus, elles concernent toutes les deux un réfractomètre numérique. Même s'il n'est pas possible de mettre une évidence une différence entre les réfractomètres numériques et optiques à travers ces études, la variabilité la plus forte est enregistrée pour le réfractomètre numérique. On ne dispose que de peu de données sur les veaux allaitants, la majorité des études portant sur les veaux laitiers.

Ces coefficients de corrélation relativement élevés permettent d'envisager l'utilisation de la concentration en PT déterminée par réfractométrie pour estimer la qualité du transfert d'immunité passive. Cette méthode ne pourra pas être utilisée comme un dosage indirect des IgG mais comme un « test diagnostique ». Les auteurs ont défini des valeurs seuil de PT, correspondant à 10 g/L d'IgG, pour discriminer les bons des mauvais transferts d'immunité. La sensibilité est définie comme étant la probabilité qu'une mesure révèle un échec du transfert colostral (< 10 g/L d'IgG). Les valeurs caractéristiques, de sensibilité et de spécificité, ont été définies pour les différents seuils proposés par les publications.

Tableau XIV : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en g/L pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif identifié échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières)

Type de réfractomètre	Publication	Race	Seuil (g/L)	Sensibilité	Spécificité
Optique	Tyler 1996	L	55	0.94	0.76
	Elsohaby 2015	L	55	0.80	0.81
Numérique	Cornille 2014	A + L	52	70.5	82.5
	Deelen 2014	L	52	0.67	0.95
			55	0.94	0.76

Les différentes publications avancent des seuils différents, à savoir 52 et 55 g/L de PT permettant de différencier les sérums contenant plus ou moins de 10 g/L d'IgG. Les valeurs caractéristiques sont moyennes, avec tantôt un manque de sensibilité et tantôt un manque de spécificité en fonction des études et des seuils choisis.

La majorité des publications privilégient le seuil le plus élevé, 55 g/L de PT. Il en résulte une sensibilité plus importante pour la détection des échecs de transfert d'immunité mais une spécificité assez faible. Ce choix de privilégier la sensibilité entraîne une augmentation des faux positifs, mais surtout minimise le nombre de faux négatifs. Ainsi, le test diagnostique révèle la quasi-totalité des échecs de transfert colostral.

La performance de cette méthode et de ces seuils est globalement moyenne. Cette démarche est donc à réserver à une évaluation du management du transfert d'immunité à l'échelle du troupeau en prélevant au minimum 12 veaux (Weaver 2000, Godden 2008, Becker 2013). Dans ce cadre, le coût des faux négatifs est bien plus important que celui des faux positifs. Il convient donc de privilégier la sensibilité du test.

Ces études ne traitent que de l'élevage laitier et du seuil correspondant de 10 g/L d'IgG pour définir l'échec du transfert d'immunité. Vandeputte (2011) propose des seuils plus élevés, jusqu'à 58 g/L, correspondant à une valeur de 16 g/L d'IgG pour des veaux allaitants. Il définit les valeurs caractéristiques : une sensibilité de 1 et une spécificité de 0.90. Ces valeurs sont très bonnes mais cette seule étude ne permet pas de conclure sur le seuil de PT à associer à la concentration de 16 g/L d'IgG. Toutefois, le fait d'associer une concentration sérique en IgG de 10 g/L à une concentration en protéines totales de 55 g/L, revient à faire correspondre la concentration de 16 g/L d'IgG au seuil de 61 g/L.

c) Evaluation du %brix déterminé par réfractométrie numérique dans l'estimation du transfert d'immunité

L'évaluation de la pertinence de l'utilisation d'un réfractomètre numérique calibré en %brix est réalisée dans différentes publications, notamment à travers le coefficient de corrélation linéaire. Ces coefficients sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (Tableau XV).

Tableau XV : Coefficients de corrélation linéaire reliant le %brix à la concentration d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières)

Type de réfractomètre	Publication	Effectif et type racial	Coefficient de corrélation
Numérique	Morill 2013	200 – L	0.87
	Cornille 2014	208 – A et L	0.66
	Deelen 2014	400 – L	0.93
	Elsohaby 2015	203 – L	0.79
	Thornhill 2015	48 – L	0.86

Les différentes publications rapportent une corrélation linéaire significative entre le %brix et la concentration sérique en IgG (Morille 2013, Cornille 2014, Deelen 2014, Elsohaby 2015, Thornhill 2015). On constate une variabilité assez importante de ces coefficients selon les études. Ils varient de 0.66 à 0.93 et ces extrêmes sont rapportés dans des études récentes (Cornille 2014, Deelen 2014). Dans l'ensemble, on peut conclure à une corrélation assez élevée entre cet outil et la méthode de référence.

Peu d'études évaluent le réfractomètre optique calibré en %brix pour l'estimation du transfert d'immunité excepté Thornhill (2015). Ce dernier ne met pas en évidence de différence significative entre les réfractomètres optiques et numériques calibrés en %brix. Encore une fois, peu d'études sont disponibles sur les veaux allaitants pour évaluer le réfractomètre calibré en %brix.

Cette corrélation assez élevée permet d'envisager l'utilisation du réfractomètre numérique comme « test diagnostique » dans l'évaluation du transfert d'immunité, de la même façon que pour la concentration en PT. Des seuils correspondant à une concentration de 10 g/L d'IgG, en deçà desquels on considère que le veau présente un échec du transfert d'immunité, ont été définis dans plusieurs publications. Ils sont assortis de valeurs de sensibilité et de spécificité. La sensibilité est définie comme étant la probabilité qu'une mesure révèle un échec du transfert colostrale (< 10 g/L d'IgG).

Tableau XVI : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en %brix pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif identifie un échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières)

Type de réfractomètre	Publication	Race	Seuil (%brix)	Sensibilité	Spécificité
Numérique	Wenz 2011	L	8.3	0.74	0.86
			8.5	0.93	0.70
	Morill 2013	L	7.8	0.94	0.90
	Cornille 2014	A + L	8.4	0.87	0.82
	Deelen 2014	L	8.4	0.89	0.89
	Elsohaby 2015	L	8.3	0.86	0.83

Les seuils les plus fréquemment rapportés comme permettant la meilleure discrimination entre les sérums contenant plus ou moins de 10 g/L sont 8.3 et 8.4 %brix (Wenz 2011, Cornille 2014, Deelen 2014, Elsohaby 2015). Ces seuils sont associés à des valeurs caractéristiques élevées, sauf dans l'étude de Wenz (2011). Ainsi, les sensibilités sont supérieures à 86% et les spécificités supérieures à 82% dans les trois publications les plus récentes (Cornille 2014, Deelen 2014, Elsohaby 2015). Les performances de cet outil sont donc bonnes et permettent son utilisation dans l'estimation de la qualité du transfert colostral. En privilégiant le seuil de 8.4 %brix, on maximise la sensibilité et on diminue le nombre de faux négatifs, qui sont les plus préjudiciables, notamment à l'échelle du troupeau. En effet, ces derniers pourraient conduire à une validation des pratiques de management du colostrum dans un élevage où le transfert d'immunité n'est pas optimal en réalité.

Récemment, un réfractomètre numérique calibré directement en g/L d'IgG a été évalué (Chigerwe 2014). Calibré de cette manière, le réfractomètre devient une véritable méthode de dosage des IgG sériques. Cependant, les performances de ce réfractomètre sont moyennes, avec une sensibilité de 100% mais une spécificité faible de 24%. Ceci s'explique par une sous-estimation importante de la concentration en IgG, de 11.3 g/L en moyenne.

d) Comparaison PT - %brix

Au terme de cette évaluation, ces deux outils sont utilisables pour estimer la concentration sérique en IgG des veaux nouveau-nés. Ces outils ont surtout un intérêt à l'échelle du troupeau pour évaluer les pratiques liées au transfert colostral.

Cependant, peu d'études s'attachent à comparer les performances de ces deux outils. Certaines publications affirment qu'il n'y a pas de différence significative de performance (Deelen 2014, Elsohaby 2015) alors que Cornille (2014) rapporte une supériorité du réfractomètre numérique %brix par rapport au réfractomètre optique en g/L de PT. Les coefficients de corrélation avec l'IDR semblent similaires. Il en est de même pour les valeurs caractéristiques qui se rapportent aux seuils proposés dans les différentes publications. Elles semblent similaires, avec toutefois des valeurs de spécificité et de sensibilité moins éloignées l'une de l'autre pour le réfractomètre numérique %brix.

e) Conclusion

Le réfractomètre, numérique ou optique, qu'il soit calibré en %brix ou en g/L de PT, est un outil fiable pour estimer la qualité du transfert d'immunité passive. Il est utilisé, non pas comme une méthode de dosage, mais comme une méthode de classification du transfert colostral comme étant adéquat ou comme ayant échoué. Cet outil est particulièrement intéressant à l'échelle du troupeau.

4. Activité de la Gamma Glutamyl Transférase (GGT)

Les GGT sont des enzymes synthétisées par le tissu mammaire et présentent en concentration importante dans le colostrum, environ 500 UI/L (Weaver 2000, Hogan 2015). Les GGT sont absorbées au niveau intestinal en même temps que d'autres macromolécules protéiques, en particulier les Ig. On retrouve donc des concentrations importantes de GGT, beaucoup plus que pour un adulte, chez le veau après la prise colostrale (Weaver 2000, Hogan 2015). 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. La corrélation linéaire entre les concentrations de GGT et d'IgG est faible à moyenne, de l'ordre de 0.50 à 0.65 (Vandeputte 2011, Cornille 2014). Des seuils ont été définis, correspondant à 10 g/L d'IgG, assortis de valeurs caractéristiques. Ainsi, Hogan (2015) et Cornille (2014) avancent respectivement des seuils de 100 et 254 UI/L, assortis de sensibilités de 97% et 79% et de spécificités de 98% et 91%. Les performances de ce test semblent bonnes à très bonnes et ces auteurs valident cette méthode dans l'estimation du transfert d'immunité (Cornille 2014, Hogan 2015).

Cependant, devant les seuils très différents proposés, les coefficients de corrélation moyens et les fortes variations de la concentration en GGT dans les jours suivant la naissance, plusieurs publications déconseillent le recours à cette méthode (Weaver 2000, Godden 2008, Vandeputte 2011). D'autre part, cette méthode 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).

5. Autres méthodes d'estimation de la concentration sérique en IgG

D'autres méthodes d'estimation de la qualité du transfert d'immunité sont décrites dans la littérature, à savoir (Weaver 2000, Cornille 2014, Hogan 2015) :

- Précipitation des protéines au sulfate de zinc
- Précipitation des protéines au sulfite de sodium
- Coagulation des protéines au glutaraldéhyde

Ces méthodes 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). Cependant, un test de terrain basé sur la méthode de coagulation des

protéines au glutaraldéhyde a été développé récemment par l'université de Liège, le Calf-IgG-test[®]. Le temps de coagulation du sang total est suivi. Lorsque le temps de coagulation est inférieur à 1 min, la concentration en IgG sérique dépasse 10.1 g/L. Un temps de coagulation de plus de 2 min signe un échec du transfert d'immunité et un temps intermédiaire correspond à un résultat douteux. Ce test présente de bonnes performances puisque ces seuils sont associés à une sensibilité de 97% et une spécificité de 80%.

F. Bonnes pratiques du transfert d'immunité passive

1. Généralités

Les bonnes pratiques correspondent au management du transfert d'immunité colostrale de la mère au veau. De nombreuses études ont été réalisées à ce sujet et fixent un certain nombre de recommandations. Même si les recommandations sont les mêmes en élevage allaitant et laitier, les pratiques et les difficultés ne sont identiques. Les leviers d'amélioration sont donc différents.

En élevage laitier, la collecte du colostrum est aisée puisque les vaches ont l'habitude de la traite. Le problème réside surtout dans la qualité du colostrum, moindre par rapport aux vaches allaitantes. Aux USA, seuls 65% environ des veaux laitiers se voient distribuer le colostrum « à la main » (Godden 2009). En France, 35% des éleveurs donnent le colostrum directement après la naissance et dans un cas sur deux, ils ne donnent que 1L de colostrum (Allix 2013). Seuls 24% des éleveurs laitiers français évaluent la qualité du colostrum et dans la moitié des cas, elle n'est que visuelle (Allix 2013). Les principaux leviers d'amélioration sont la précocité de la distribution du colostrum et l'évaluation de sa qualité. A défaut, une augmentation de la quantité de colostrum distribuée est requise.

En élevage allaitant, le principal problème est la traite de la vache afin de recueillir le colostrum. Seuls un tiers des éleveurs allaitants français distribuent le colostrum à la main et les couples mère-veau ne sont isolés que dans 55% des cas (Allix 2013). Le principal levier d'amélioration réside dans la sécurisation de la prise colostrale par la distribution du colostrum à la main, c'est-à-dire une distribution forcée. Des équipements de contention, comme des barrières à césarienne qui disposent d'une ouverture basse, facilitent grandement la traite de la vache allaitant et améliorent la sécurité de l'éleveur.

Les règles qui régissent la prise colostrale, s'articulent autour de l'acronyme **3QC** :

- **Quality** : qualité du colostrum
- **Quantity** : volume de colostrum et quantité d'IgG ingérés
- **Quickly** : moment de l'ingestion du colostrum par rapport à la naissance
- **Cleanless** : qualité du colostrum sur le plan bactériologique

2. Quantité

Lorsqu'on envisage la quantité dans le transfert d'immunité, on entend à la fois le volume (L) de colostrum distribué et la quantité (g) d'IgG ingérée par le veau. Des recommandations ont été établies pour ces deux facteurs dans la littérature. Il est cependant évident que **la quantité d'IgG circulante chez le veau dépend directement de la quantité d'IgG ingérée pondérée par l'AEA** (Maillard 2013). Le volume de colostrum ingéré détermine uniquement la quantité d'IgG par l'intermédiaire de la concentration du colostrum en IgG et donc de sa qualité. La connaissance du seul volume administré au veau ne permet ni de préjuger la quantité d'Ig ingérée, ni d'estimer la concentration sérique en Ig.

a) Quantité d'immunoglobulines à distribuer

La figure ci-dessous illustre que l'augmentation de la quantité d'immunoglobulines ingérée par le veau améliore de façon significative le transfert d'immunité passive (Morin 1997). **L'objectif est donc de maximiser la quantité d'Ig ingérée.**

Différentes publications émettent des recommandations en termes de quantité d'immunoglobulines à ingérée par le veau. Des publications plus anciennes, citées par Allix (2013), avancent une quantité de 100 g d'Ig. Cependant, comme l'illustre la figure ci-dessous (Figure 9), cette quantité peut conduire à un taux important d'échec du transfert d'immunité (Morin 1997, Godden 2009, Patel 2014). Godden (2009) enregistre 58.3% d'échec du transfert d'immunité lors de la distribution de 100g d'IgG avec une sonde œsophagienne.

Les publications récentes recommandent la distribution de 150 à 200g d'immunoglobulines (Chigerwe 2008, Godden 2009, Chigerwe 2012, Allix 2013, Becker 2013, Patel 2014). On peut citer l'exemple de l'étude de Chigerwe (2008) qui arrive à la conclusion qu'il faut distribuer au minimum 153g d'IgG dans 3L de colostrum à 2h *post partum* à un veau laitier.

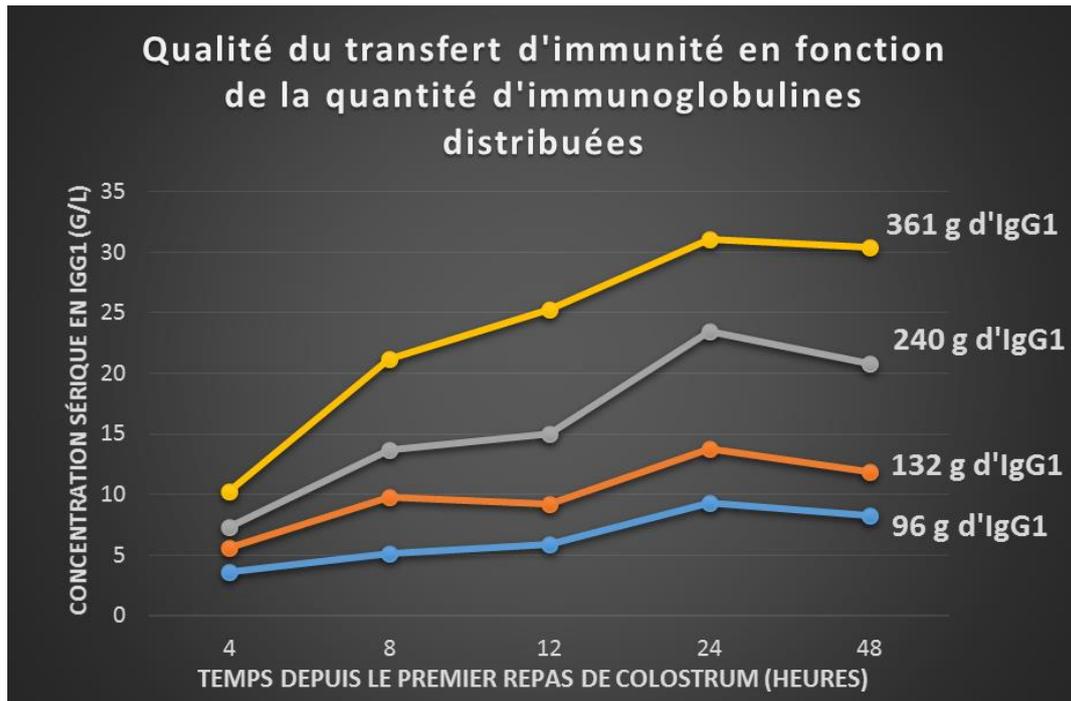


Figure 10 : Evolution des concentrations sanguines en IgG1 après le premier repas de colostrum administré à des veaux Prim Holstein – La prise colostrale se compose de 2 repas, à la naissance et à 12h *post partum* (Morin 1997)

Ces recommandations sont néanmoins à relativiser. D'une part, il ne s'agit que de recommandations minimales liées à l'objectif de 10 g/L d'IgG. En effet, comme illustré en début de cette partie, plus la concentration sérique en IgG est élevée, plus le risque de mortalité et de morbidité est faible. Il convient donc de maximiser autant que possible l'ingestion d'immunoglobulines, surtout sur des veaux plus lourds. D'autre part, ces chiffres concernent uniquement les veaux laitiers. En effet, les veaux allaitants sont généralement plus lourds et l'objectif à atteindre est de 16g d'IgG par litre de sang. La quantité d'immunoglobulines devant être ingérée est donc plus élevée. Aucune étude n'avance de chiffres en prenant en compte ce seuil pour des veaux allaitants. Ensuite, ces recommandations, excepté celle de Chigerwe (2008), ne prennent pas en compte le moment de distribution du colostrum, ni le nombre de repas.

b) Volume de colostrum à distribuer

Des recommandations basées sur le volume à distribuer sont nécessaires. En effet, peu d'éleveurs évaluent la qualité du colostrum et ne savent donc pas la quantité d'IgG distribuée. D'autre part, la qualité du colostrum est souvent insuffisante en élevage laitier. La maximisation des volumes distribués permet dans une certaine mesure de pallier à ce défaut de qualité (Becker 2013).

On observe une augmentation significative de la concentration sérique en IgG chez le veau lorsque l'on augmente le volume de colostrum ingéré au premier repas (Besser 1991, morin 1997, Jaster 2005, Godden 2009, Furman-Fratczak 2011, Chigerwe 2012). On peut citer l'exemple de l'étude de Godden (2009), où les concentrations sériques en IgG chez les veaux sont de 19 et 11 g/L lorsqu'ils se voient distribuer 3 et 1.5 L de colostrum, respectivement.

Les recommandations actuelles sont de **distribuer 4L de colostrum lors du premier repas** (Morin 1997, McGuirk 2004, Jaster 2005, Godden 2009, Becker 2013, Patel 2014). Cette recommandation ne fait néanmoins pas l'unanimité. Certains auteurs vont jusqu'à conseiller un premier repas de 6 litres de colostrum (Allix 2013). D'autres ne mettent pas en évidence de bénéfice significatif à distribuer quatre litres de colostrum plutôt que trois (Russell Sakai 2012). Ces recommandations concernent le premier repas de colostrum, idéalement distribué dans les deux heures *post partum* (Chigerwe 2008, Becker 2013). Il est recommandé de distribuer un 2^{ème} repas de colostrum de la première traite à environ 12 heures après la naissance, d'un volume de 2 litres (Besser 1985, Morin 1997, Jaster 2004, Allix 2013).

La maximisation du volume de colostrum distribué est un des leviers d'amélioration du transfert d'immunité (Allix 2013). Cette pratique est particulièrement intéressante lorsque la qualité du colostrum est inconnue ou lorsqu'elle est faible. Elle a cependant des limites. Même si l'administration forcée de 4L de colostrum ne provoque pas de signes d'inconfort (Allix 2013), l'ingestion spontanée d'un veau laitier est de 2.2 à 2.4 L en moyenne (Godden 2009, Chigerwe 2012). On ne peut pas augmenter sans limites le volume de colostrum administré. Certains auteurs préconisent alors un fractionnement de la distribution, avec un repas à la naissance, à 6h et à 12h *post partum* (Morin 1997). Ceci remet la qualité du colostrum au centre des considérations.

c) Calcul de la quantité de colostrum nécessaire

Pour s'affranchir de ces considérations, une autre méthode existe afin d'estimer la quantité de colostrum à distribuer au veau (Maillard 2013). Il s'agit d'une méthode de calcul qui nécessite de connaître la concentration en IgG dans le colostrum et d'estimer l'AEA (%). Elle prend en compte le poids du veau à la naissance.

Le calcul de la quantité minimale d'immunoglobulines à administrer se fait en multipliant le volume sanguin du veau par la concentration minimale en Ig souhaitée, pondérée par l'AEA. Le volume sanguin circulant s'estime chez le veau en prenant 9% de son poids vif (Quigley 2007 – Partie II.D.2). Il suffit alors de diviser la quantité d'IgG ainsi calculée par la concentration du colostrum en IgG pour obtenir le volume à distribuer. Ce volume est donné par la formule suivante :

$$\text{Volume (L)} = \frac{PV (kg) \times 0.09 \times \text{Concentration sérique en IgG souhaitée (g.L}^{-1})}{\text{Concentration en IgG dans le colostrum (g.L}^{-1}) \times \text{AEA (\%)}}$$

La principale difficulté est l'estimation de l'AEA. Dans les différentes publications calculant cette dernière, elle varie de 19.3 à 48.4 % (Besser 1985, Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Singh 2011, Kryzer 2015). De plus, de nombreux facteurs de variation affectent l'AEA.

Dans le tableau ci-dessous sont calculés les volumes de colostrum à distribuer en fonction de sa qualité, pour un veau de 50 kg, en prenant comme objectif 10 et 16 g/L d'IgG par litre de sang chez un veau laitier et allaitant, respectivement. L'AEA est choisi en prenant un taux moyen, qui correspond à 25% en élevage laitier. Pour un veau allaitant, l'absorption étant meilleure, un AEA de 30% est choisi. L'AEA peut aussi être déterminé selon l'étude de Besser (1985) qui montre une forte variation de l'AEA avec la qualité du colostrum. Selon cette étude les AEA sont les suivants : 49% jusqu'à 30 g/L, 33% entre 31 et 70 g/L et 23% à plus de 71 g/L d'IgG dans le colostrum. L'AEA est majoré de 5% pour les veaux allaitants de façon arbitraire.

Tableau XVII : Calcul de la quantité de colostrum à distribuer à un veau de 50kg dans les 12 heures en fonction de la qualité du colostrum avec un objectif de 10 g/L d'IgG pour un veau laitier et 16 g/L d'IgG pour un veau allaitant (Besser 1985, Maillard 2013)

Qualité du colostrum (g/L)	Volume de colostrum à distribuer pour un veau de 50 kg			
	Laitier AEA = 25%	Laitier AEA Besser (1985)	Allaitant AEA = 33%	Allaitant AEA Besser (1985)
20	9	4,6	12	7,3
30	6	3,1	8,0	4,9
40	4,5	3,4	6	4,2
50	3,6	2,7	4,8	3,3
60	3	2,3	4	2,8
70	2,6	1,9	3,4	2,4
80	2,3	2,4	3	2,7
90	2	2,2	2,7	2,4
100	1,8	2	2,4	2,2
120	1,5	1,6	2	1,8
140	1,3	1,4	1,7	1,6
160	1,1	1,2	1,5	1,4
180	1	1,1	1,3	1,2
200	0,9	1	1,2	1,1

En étudiant ces résultats, on se rend compte des importantes variations du volume à distribuer en fonction du choix de l'AEA, surtout pour les colostrums de faible qualité. Pour un veau de 50 kg, il faut distribuer 3.6 litres d'un colostrum moyen (50 g/L d'IgG) à un veau laitier et 2.4 litres d'un colostrum moyen (100 g/L) à un veau allaitant. Ces volumes permettent théoriquement d'atteindre 10 et 16 g/L d'IgG pour un veau laitier et allaitant, respectivement. Cependant, ces concentrations sont des minima et des volumes plus importants doivent être administrés pour augmenter la qualité du transfert d'immunité.

3. Moment de la distribution

Le moment de la prise colostrale est, avec la quantité de colostrum, le facteur qui a la plus grande influence sur l'AEA et donc sur la réussite du transfert d'immunité (Quigley 2007, Allix 2013, Becker 2013). En effet, on constate une décroissance rapide de l'absorption intestinale des immunoglobulines, probablement dès la mise-bas (Quigley 2007, Lang 2008). Douze heures après la naissance, l'absorption perd en moyenne plus de la moitié de son efficacité (Godson 2003, Quigley 2007, Patel 2014). Dans l'exemple relevé dans l'article de Godson (Figure ... - Partie III-D-2) une prise colostrale après 7,5 heures *post partum* ne permet plus d'atteindre une concentration sérique en IgG de 10 g/L. Un premier repas de colostrum après 4 heures *post partum* est relié à un échec du transfert d'immunité avec un odds ratio de 2.7 (Beam 2009). S'ajoute à cela une forte variabilité individuelle de l'AEA, résultant en une diminution plus rapide et une *closure* plus précoce chez certains veaux.

La préconisation actuelle est de **distribuer le colostrum le plus rapidement possible après la naissance**. Même si certaines publications fixent un objectif de 2 heures, il semble raisonnable de définir une période de 6 heures *post partum* durant laquelle le veau doit avoir son premier repas de colostrum (McGuirk 2004, Chigerwe 2008, Lang 2008, Becker 2013, Patel 2014).

La précocité de la prise colostrale est un des leviers majeurs d'amélioration du transfert d'immunité (Allix 2013). Ceci est particulièrement important en élevage laitier, où le colostrum est fréquemment de mauvaise qualité. Une distribution, la plus précoce possible du premier repas, permettrait de diminuer le taux d'échec du transfert colostrale.

Après un premier repas précoce, un deuxième repas de colostrum issu lui aussi de la première traite, permet d'augmenter la concentration sérique en IgG (Jaster 2005). Il est ainsi préconisé d'administrer, en plus du repas à la naissance, **2 litres de colostrum 12 heures *post partum*** (Morin 1997, Jaster 2005, Allix 2013).

4. Qualité

La qualité du colostrum a été largement abordée dans la deuxième partie de l'exposé. Cette partie permet de rappeler l'importance cruciale de la qualité du colostrum dans l'acquisition de l'immunité passive par le veau, ainsi que sa place dans le management de la prise colostrale. Lorsqu'on parle de qualité, on entend bien sûr la concentration du colostrum en IgG. Cependant, l'importance de la contamination bactérienne du colostrum est à considérer aussi. Elle affecte de manière importante l'absorption des immunoglobulines par le veau et sera considéré comme le reflet de la qualité du colostrum sur le plan bactériologique.

a) Sur le plan immunologique

Les objectifs en terme de qualité du colostrum ont été définis, aussi bien en élevage laitier, qu'en élevage allaitant. Ainsi, un colostrum est considéré comme étant de qualité suffisante

pour assurer un transfert colostrale adéquat lorsqu'il contient 50 g/L d'IgG en élevage laitier et 100 g/L d'IgG en élevage allaitant. Ces seuils sont des minima, définis ainsi puisqu'ils permettent d'atteindre des valeurs de concentration sérique correcte chez les veaux, mais uniquement si la distribution est précoce et en quantité suffisante.

L'estimation de la qualité du colostrum répond à trois enjeux majeurs en élevage :

- **elle conditionne le volume de colostrum à distribuer**

Le fait d'avoir une idée de la qualité du colostrum permet à travers un calcul simple, effectué dans le tableau ... ci-dessus, de connaître le volume minimal de colostrum à faire avaler pour lui assurer un transfert d'immunité adéquat.

A travers ce calcul, on peut se rendre compte que le volume de colostrum que l'on a à disposition est trop faible pour assurer la réussite du transfert colostrale, particulièrement en élevage allaitant, où les objectifs sont plus élevés. On peut aussi arriver à la conclusion que le volume à distribuer est trop important par rapport à ce que le veau peut raisonnablement ingérer.

Dans ces cas, on peut éviter l'échec du transfert d'immunité en utilisant un colostrum de substitution, souvent un colostrum de bonne qualité conservé au congélateur.

- **elle permet de choisir des colostrums qui seront conservés pour pallier à des manques ultérieurs**

La conservation à long terme, par congélation, permet d'avoir une réserve de colostrum facilement disponible lorsque l'on se retrouve face à une situation où le colostrum de la mère est disponible en volume trop faible ou en qualité trop médiocre.

Il est nécessaire de ne conserver que des colostrums d'excellente qualité, ce qui correspond à des concentrations de 80 g/L en élevage laitier et 130-150 g/L en élevage allaitant.

- **elle permet de connaître la qualité du colostrum à l'échelle du troupeau afin de déterminer les leviers d'action pour améliorer le transfert d'immunité**

Face à une situation de forte prévalence d'échec du transfert d'immunité, la connaissance de la qualité du colostrum au sein du troupeau est nécessaire. Si les colostrums sont de mauvaise qualité, une augmentation des volumes distribués peut améliorer l'immunité des veaux. Lorsque la qualité est globalement bonne, on peut se rediriger vers les facteurs qui conditionnent l'absorption, en particulier la précocité de la prise colostrale et la qualité bactériologique du colostrum.

b) Sur le plan bactériologique

Une contamination bactérienne importante du colostrum est fortement préjudiciable à l'absorption des immunoglobulines (Partie III-D-2). Une augmentation de la concentration en germes totaux dans le colostrum de 2 logs décimaux diminue d'environ 20% la concentration

sérique en IgG chez le veau (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsing 2014, Kryzer 2015).

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**. Cependant, la diminution au maximum de la contamination bactérienne du colostrum permet de maximiser l'absorption des immunoglobulines, même en-dessous de ces seuils.

Le colostrum est faiblement contaminé au sortir de la mamelle mais de façon importante dans le pot trayeur et la sonde œsophagienne, sans différence significative entre le pot trayeur et la sonde (James 2009, Bruyère 2015). La contamination bactérienne a bien lieu pendant la récolte du colostrum (Bruyère 2015). Les sources de contamination sont essentiellement la peau des trayons, les faisceaux trayeurs et le pot trayeur (Bruyère 2015). La contamination est fortement majorée lors du pooling (=mélange) de plusieurs colostrum de vaches différentes ou encore lorsque la vache est atteinte d'une mammite ou d'une hémolactation (McGuirk 2004, Godden 2008, Bruyère 2015). La concentration en bactérie augmente rapidement lorsque le colostrum est laissé à température ambiante (James 2009).

Il en résulte des recommandations concernant la collecte du colostrum (McGuirk 2004, Godden 2008, Bruyère 2015) :

- Hygiène de la mamelle : nettoyage et désinfection des trayons, comme lors d'une traite normale, après avoir tiré les premiers jets pour s'assurer de l'absence de mammite
- Hygiène du matériel de traite : nettoyage et désinfection des manchons et du pot trayeur
- Ne pas laisser plus de 2 heures le colostrum à température ambiante

Une autre manière de contrôler la population bactérienne dans le colostrum est la **thermisation** (McGuirk 2004, Johnson 2007, Godden 2008, Elizondo-Salazar 2009, Becker 2013, Gelsing 2014, Bruyère 2015, Kryzer 2015). Elle doit être réalisée dans des conditions strictes. En effet, un chauffage trop important altère la concentration en IgG et augmente la viscosité du colostrum (Gelsing 2014).

La plupart des publications préconisent un chauffage du colostrum à 60°C pendant une durée de 30 à 60 minutes (Johnson 2007, Godden 2008, Elizondo-Salazar 2009, Becker 2013, Gelsing 2014, Bruyère 2015, Kryzer 2015). Ce couple temps-température n'affecte pas, ou peu, la concentration en IgG dans le colostrum (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Becker 2013, Gelsing 2014, Kryzer 2015). La thermisation du colostrum diminue la concentration en germes totaux d'un facteur 32 à 100 selon les études, et améliore de façon significative l'absorption intestinale des immunoglobulines, d'où une augmentation d'environ 20% de la concentration en IgG (Johnson 2007, Elizondo-Salazar 2009, Gelsing 2014, Kryzer 2015).

Le chauffage permet aussi d'éliminer des bactéries potentiellement pathogènes (Godden 2008, Bruyère 2015). Un chauffage pendant 60 minutes permet d'éliminer à la fois les colibacilles, les salmonelles, les mycoplasmes, *Listeria monocytogenes* et *Myobacterium avium subsp. paratuberculosis*, l'agent de la paratuberculose bovine (Gelsing 2014, Bruyère 2015). La diminution de l'ensemencement du tube digestif avec des colibacilles favorise sa colonisation par des bactéries de la flore commensale bénéfique pour le veau (*Bifidobacterium*,...) (Bruyère 2015).

La thermisation détruit les leucocytes présents dans le colostrum (Quigley 2001, Maillard 2013). Ce préjudice semble faible par rapport aux nombreux avantages de la thermisation.

5. Méthode de distribution

Le début de cette partie qui traite de la quantité et du moment de la « distribution » du colostrum concerne essentiellement les veaux laitiers. En effet, en élevage allaitant, le colostrum n'est distribué au veau que par un tiers des éleveurs ce qui correspond à une proportion bien moindre des veaux (Allix 2013). Ce manque de sécurisation du transfert d'immunité est identifié comme étant le problème majeur en élevage allaitant (Allix 2013).

La prise colostrale peut avoir lieu selon trois méthodes : tétée directement à la mère – distribution au biberon – distribution à la sonde œsophagienne.

Laisser le veau téter seul sa mère est une pratique que l'on rencontre essentiellement en élevage allaitant, mais est répandue aussi en élevage laitier. Elle présente l'avantage de ne pas à avoir à traire la mère, ce qui peut s'avérer difficile voir périlleux sur une vache allaitante. Cependant, cette méthode est absolument à éviter. Besser (1991) rapporte une prévalence de 61.4% d'échec du transfert d'immunité (< 10 g/L IgG1) pour des veaux tétant leur mère sans assistance extérieure pour la prise colostrale. Cette prévalence est significativement beaucoup plus élevée pour les veaux qui tètent seuls, par rapport à ceux qui se voient distribuer le colostrum au biberon ou à la sonde œsophagienne, 19.3 et 10.8% respectivement. Beam (2009) associe la tétée en autonomie à l'échec du transfert d'immunité avec un odds ratio de 2.4. A cela s'ajoute le fait que 10 à 55% des veaux tètent uniquement du lait d'autres vaches que leur mère pendant les 24 premières heures *post partum* (Allix 2013). Ceci est un problème majeur en stabulation libre, surtout en élevage allaitant. Tout part dystocique ou prolongé associé ou non à une altération du statut métabolique, peut retarder la mise station debout et la prise colostrale (Weaver 2000, Guélon 2013, Maillard 2013). Encourager le veau à téter après la mise-bas, en le levant et en l'amenant vers le pis, n'améliore pas la qualité du transfert d'immunité, essentiellement du fait de l'absence de contrôle de la quantité ingérée (Filteau 2003).

La distribution contrôlée du colostrum au veau est donc indispensable pour optimiser le transfert d'immunité passive. Il est recommandé de séparer le veau de sa mère dans le 1 à 2h suivant le part en élevage laitier et de distribuer le colostrum « à la main » (McGuirk 2004, Godden 2008, Godden 2009). En élevage allaitant, il est préconisé de traire la mère

rapidement après le vêlage et d'administrer un volume maximal de colostrum au veau. Des équipements, telles que des barrières à césarienne avec une ouverture basse, permettent d'assurer les conditions de sécurité pendant la traite de la vache.

La plupart des publications considèrent que les deux méthodes d'administration du colostrum, à savoir le biberon et la sonde œsophagienne, donnent des résultats similaires en terme de concentration sérique en IgG chez le veau (Besser 1991, Weaver 2000, Godden 2008, Chigerwe 2012). Chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients.

La distribution du colostrum au biberon permet la mise en œuvre du réflexe de succion et ainsi la fermeture de la gouttière œsophagienne (Godden 2008, Chigerwe 2012, Patel 2014). Il en résulte un passage direct du colostrum dans la caillette puis l'intestin, où les immunoglobulines sont absorbées. Le principal inconvénient de cette méthode est le volume de colostrum consommé volontairement par le veau. En moyenne, un veau laitier consomme entre 2.2 et 2.4 L de colostrum spontanément (Godden 2009, Chigerwe 2012). Ceci peut s'avérer insuffisant, surtout en élevage laitier où les volumes distribués sont plus importants. Le sondage œsophagien est une méthode d'administration forcée du colostrum. Elle présente l'avantage de permettre une distribution rapide de colostrum à un veau avec le volume que l'on souhaite. Cependant, elle a plusieurs inconvénients. Le sondage est un geste technique qui requière un peu d'habitude. Il faut veiller à ne le réaliser que sur des veaux conscients avec un réflexe de déglutition de bonne qualité (Becker 2013). D'autre part, le sondage n'entraîne pas de fermeture de la gouttière œsophagienne et le colostrum passe dans le réticulo-rumen (Godden 2008, Chigerwe 2012, Patel 2014). Son volume est évalué entre 0.4 et 1L et le temps de vidange du réticulo-rumen est estimé à 3 heures (Godden 2008, Godden 2009). Il en résulte un retard de 3 heures de l'arrivée du colostrum dans l'intestin. Pendant ce laps de temps, l'AEA continue de chuter et est donc plus faible lors du passage du colostrum dans l'intestin grêle. Godden (2009) met en évidence une AEA et une concentration sérique en IgG significativement plus faible lors de la distribution de 1.5 L d'un même colostrum par sondage œsophagien, par rapport à la distribution au biberon. Cette différence n'est plus mise en évidence pour un volume de 3L. Ceci s'explique par la capacité tampon du réticulo-rumen qui est significative pour un volume de 1.5L mais pas pour un volume de 3L.

Au terme de cette partie, on peut conclure qu'il faut contrôler la prise colostrale en distribuant un volume connu de colostrum, de façon précoce, autant en élevage laitier qu'allaitant. Les distributions au biberon ou par sondage œsophagien conviennent pour de grands volumes de colostrum (> 3L). Il est néanmoins recommandé de privilégier le biberon pour de faibles volumes, d'autant plus qu'il a toutes les chances d'être consommé spontanément par le veau.

6. Conservation

Les bactéries se développent rapidement dans le colostrum lorsqu'il est laissé à température ambiante, mais aussi lorsqu'il est réfrigéré (Godden 2008, James 2009, Bruyère 2015). Un colostrum non distribué dans les 1 à 2 heures suivant sa collecte doit être réfrigéré ou congelé (Becker 2013, Patel 2014, Bruyère 2015).

La conservation d'un colostrum au réfrigérateur (4°C) permet de conserver ses caractéristiques, en particulier la concentration en IgG, mais ne devrait pas dépasser 2 à 3 jours (McGuirk 2004, Godden 2008, James 2009, Bruyère 2015). En effet, on observe une multiplication bactérienne même lorsque le colostrum est maintenu à 4°C (James 2009, Bruyère 2015). Le seuil des 100 000 ufc/ml est atteint en quelques jours (James 2009). Une conservation au réfrigérateur plus longue, de l'ordre de 8 à 10 jours, est possible si une thermisation préalable est réalisée (Bruyère 2015).

Un colostrum congelé à -20°C peut être conservé pendant au moins un an sans diminution de la concentration en IgG (Foley 1978, McGuirk 2004, Becker 2013, Patel 2014, Bruyère 2015). Les cellules contenues dans le colostrum, en particulier les leucocytes utiles au développement du système immunitaire, ne survivent pas à la congélation (Quigley 2001, McGuirk 2004). La décongélation ne doit pas être trop longue pour que la prise colostrale soit précoce. Il est donc recommandé d'utiliser des récipients adaptés en volume pour congeler du colostrum, afin d'optimiser le temps de décongélation (Patel 2014, Bruyère 2015). Cependant, la décongélation doit se faire au bain-marie sans excéder la température de 50°C (Becker 2013, Patel 2014). Une décongélation au four micro-onde détruit les immunoglobulines (Bruyère 2015).

G. Que faire en cas d'échec du transfert d'immunité

1. Mise en évidence à l'échelle du troupeau

La mise en évidence de l'échec du transfert d'immunité passive à l'échelle individuelle fait intervenir différentes méthodes. Certaines sont utilisables facilement par le vétérinaire, voir par l'éleveur, à la clinique ou sur le terrain.

Cependant, l'échec individuel du transfert d'immunité apporte peu d'informations sur la gestion du transfert colostrale au sein de l'élevage. Une évaluation à l'échelle du troupeau est nécessaire pour estimer la qualité des pratiques dans un élevage. Une telle évaluation doit être mise en œuvre lors d'un **audit pour des pathologies affectant les veaux**, en particulier pour les gastro-entérites néonatales.

Le but d'une démarche d'audit est l'identification des facteurs de risques réellement présents dans un élevage afin d'y apporter des mesures correctives. Un mauvais transfert d'immunité

constitue un facteur de risque majeur dans la plupart des pathologies néonatales, notamment les diarrhées.

Lors de l'évaluation du transfert d'immunité au sein d'un groupe, on compare la concentration en IgG sérique des veaux à des seuils définis dans la littérature, à savoir 10 g/L et 16 g/L d'IgG pour des veaux laitiers et allaitants, respectivement. **Ces seuils ne correspondent pas à des objectifs mais bien à des minima, qui permettent de définir si le transfert d'immunité est un levier d'amélioration ou non dans l'incidence de la pathologie prise en compte.** Cette estimation doit être réalisée régulièrement dans un élevage. En effet, une absence d'évaluation régulière est associée significativement à une prévalence plus importante de l'échec du transfert colostrale dans le troupeau (Beam 2009).

Un protocole d'estimation du transfert d'immunité est décrit dans la littérature scientifique. Il repose sur des méthodes rapides d'estimation de la concentration sérique en IgG : la concentration en protéines totales et le degré brix (%brix) du sérum. Même si ces méthodes ne sont pas préconisées par tous les auteurs à l'échelle individuelle, elles sont assez performantes à une échelle plus globale.

L'évaluation du transfert colostrale se fait sur un effectif minimal de **12 veaux sains**, ne présentant pas de diarrhée, ni d'autre pathologie manifeste (McGuirk 2004, Godden 2008, Becker 2013, Patel 2014). Un prélèvement sanguin, sur un tube sec, est réalisé entre 24 heures et 7 jours d'âge (McGuirk 2004, Godden 2008). L'échantillon peut être analysé après centrifugation ou en laissant le caillot se former afin de récupérer le sérum (Wallace 2006). Chaque sérum est alors analysé par réfractométrie optique ou numérique et comparé aux seuils définis ci-dessus pour des veaux laitiers : 55 g/L de protéines totales - 8.4 %brix en élevage laitier, 61 g/L de protéines totales en élevage allaitant. On calcule ensuite la prévalence des veaux présentant un échec du transfert d'immunité. On accepte un maximum de 20% des veaux qui n'atteignent pas ces seuils, ce qui correspond à 2 veaux sur douze (McGuirk 2004, Godden 2008, Patel 2014). Lorsque plus de 20% des veaux présentent une immunité passive inadéquate, le management du colostrum est un réel problème dans l'élevage. L'amélioration du transfert d'immunité sera donc un levier dans la résolution de la pathologie ayant déclenché l'audit. Lorsque la prévalence de l'échec du transfert d'immunité est proche de 20%, McGuirk (2004) conseille d'augmenter l'effectif afin d'augmenter la précision des conclusions.

Il peut être difficile de réunir 12 veaux nouveau-nés, surtout lorsque les vêlages sont étalés, notamment en élevage laitier. Une période de collecte des échantillons plus longue est donc nécessaire pour pouvoir tirer des conclusions.

La mise en évidence d'un défaut de transfert d'immunité doit conduire à questionner l'éleveur sur ses pratiques de gestion de transfert colostrale, et à évaluer la qualité du colostrum selon un protocole similaire : 12 vaches, primipares et multipares. On peut difficilement améliorer la qualité du colostrum : la vache doit être traitée le plus rapidement possible après le part et

il faut veiller à apporter un minéral assez riche en sélénium en fin de gestation. Le levier d'amélioration le plus important correspond donc aux pratiques de distribution du colostrum. Il doit être distribué précocement, en quantité importante, tout en minimisant la contamination bactérienne, en réalisant éventuellement un traitement thermique. En élevage allaitant, il est primordial de sécuriser la prise colostrale en trayant la mère et en distribuant le colostrum au veau.

2. Traitement individuel

Un traitement individuel peut être mis en place après la mise en évidence d'un échec du transfert d'immunité sur un veau. Ce traitement ne sera envisagé que pour les veaux de grande valeur. Le traitement individuel peut viser un rétablissement de la concentration sérique en IgG, ou le traitement préventif des pathologies fréquentes dans l'élevage.

Le traitement préventif des pathologies affectant les veaux dans l'élevage nécessite une identification précise des germes en cause, notamment lors de diarrhées. La mise en place d'un traitement antibiotique, à l'image de celui mis en place pour un poulain, lors de l'identification d'une bactérie, est à déconseiller. En effet, tant sur le plan réglementaire que sur celui des résistances bactériennes, il convient de réserver les antibiotiques au traitement curatif. On peut cependant initier un traitement préventif lors de l'identification de *Cryptosporidium parvum*. Ce parasite est par excellence l'agent pathogène qui se développe sur un terrain d'immunodéficience, comme l'insuffisance d'immunité passive. Il est alors possible de traiter les veaux avec de l'halofuginone, ou avec des préparations de charbon éventuellement associés à des extraits végétaux (Obioneck®,...).

Le rétablissement d'une concentration sérique en IgG suffisante nécessite une thérapie lourde. Il s'agit d'une transfusion de plasma, de sérum ou de sang total. Elle doit être réalisée précocement après la *closure* de la muqueuse intestinale pour être efficace (Weaver 2000). Les publications décrivent une administration intraveineuse de 500 à 1000 ml de plasma, sérum ou sang total (Weaver 2000, Chigerwe 2010). Le sang est prélevé sur la mère du veau et transfusé directement, ou sous forme de plasma ou de sérum. L'administration intrapéritonéale de ces fluides est décrite (Weaver 2000). Les résultats sont faibles à nuls sur le plan clinique mais aussi au niveau de la concentration en IgG dans le sang du veau (Chigerwe 2000). En effet, lorsque l'on transfuse 1 litre de sang, on peut espérer apporter environ 24 g d'IgG au veau. On considère qu'un veau de 50 kg a environ 4.5 litres de sang. Il en résulte une augmentation maximale de la concentration sérique en IgG de 5 g/L, ce qui est assez faible.

Le traitement doit dans tous les cas être accompagné de mesures hygiéniques, visant à réduire au maximum la pression infectieuse (Weaver 2000).

Etude de l'influence de l'alimentation sur la qualité du colostrum à l'aide d'un réfractomètre numérique

Dans la continuité de la revue bibliographique, une étude expérimentale s'attachant à la qualité du colostrum a été réalisée. Cette étude comprend deux parties distinctes.

Dans un premier temps, l'étude expérimentale porte sur **un réfractomètre numérique**. Plus particulièrement, nous cherchons à déterminer dans quelle mesure cet outil est utilisable dans l'évaluation de la qualité du colostrum et du transfert d'immunité passive. Cette étude concerne à la fois l'élevage laitier et allaitant, et répond à un besoin sur le terrain de disposer d'outils simples et fiables pour maîtriser le transfert d'immunité passive.

Dans un deuxième temps, nous nous intéressons à **l'influence de l'alimentation en fin de gestation sur la qualité du colostrum**. Le réfractomètre numérique est utilisé pour comparer la qualité du colostrum produit par des vaches laitières avec des types de rations différents pendant le tarissement.

I. Evaluation expérimentale du réfractomètre numérique

A. Estimation de la qualité du colostrum

1. Introduction

Le veau naît agammaglobulinémique. Il dépend entièrement du transfert d'immunité passive, dont la réussite impacte de façon majeure sa santé, mais aussi ses productions futures (Faber 2005, Raboisson 2016). La qualité du colostrum est l'un des facteurs qui influe de manière la plus forte sur la qualité du transfert colostré. En effet, en fonction du volume distribué ou ingéré par le veau, la qualité du colostrum détermine la quantité d'immunoglobulines disponibles pour être absorbées.

L'évaluation de la qualité du colostrum tient donc une place centrale dans le management du colostrum. D'une part, elle permet de sécuriser le transfert d'immunité au maximum et de sélectionner les colostrums à conserver par congélation pour pallier à des manques ultérieurs. D'autre part, pour le vétérinaire praticien, elle correspond à une étape importante lors de l'appréciation des pratiques de gestion du transfert colostré dans un élevage. L'évaluation de la qualité du colostrum concerne donc aussi bien l'éleveur, que le vétérinaire. Il est donc nécessaire de disposer d'un outil fiable, utilisable facilement sur le terrain.

Le réfractomètre numérique est un outil qui pourrait correspondre à ces différentes exigences. Il a été évalué à travers différentes publications, essentiellement nord-américaines, uniquement sur des vaches laitières. A notre connaissance, seule l'étude de Cornille (2014) inclut des vaches allaitantes, sans donner de résultats qui leur soient spécifiques. D'autre part, les études ne se rejoignent pas sur la façon de l'utiliser. Il est donc important d'évaluer

cet outil en le confrontant aux spécificités françaises, à la fois sur des vaches laitières et allaitantes. On pourra alors donner aux éleveurs et aux vétérinaires les clés de l'utilisation de cet outil ainsi qu'une mesure de sa fiabilité.

Le but de cette première étude est d'évaluer la pertinence de l'utilisation d'un réfractomètre numérique calibré en degré brix (%brix) dans l'estimation de la qualité immunologique du colostrum. Plus précisément, nous avons cherché à comparer la méthode réfractométrique à l'immunodiffusion radiale, qui est considérée comme la méthode de référence, ainsi qu'à déterminer des seuils en %brix correspondant à des concentrations en IgG « charnières », associées à des valeurs de sensibilité et de spécificité, permettant d'interpréter les résultats réfractométriques.

2. Matériel et méthodes

Des échantillons de colostrum ont été collectés entre septembre 2013 et décembre 2014 dans 24 élevages différents répartis de la façon suivante :

- 6 élevages allaitants de race Charolaise, au nord de la Bourgogne
- 18 élevages laitiers de race Prim Holstein
 - 9 élevages dans le Bas-Rhin (67) et en Moselle (57) sur la clientèle de la clinique vétérinaire de SARRE-UNION (67)
 - 6 élevages au sein d'une association de valorisation du colostrum bovin rattachée à la Communauté de Commune de Saint-Laurent-de-Chamousset (69)
 - 3 élevages de la clientèle de l'Unité Clinique Rurale de l'Arbresle (UCRA) rattachée à VetAgro Sup - Campus vétérinaire de Lyon (69)

Les échantillons de colostrum sont prélevés par les éleveurs selon une fiche d'instructions (Annexe 1). Les échantillons correspondent à un colostrum de mélange des quatre quartiers. Il est prélevé « à la main », rapidement après le vêlage en élevage allaitant. En élevage laitier, le colostrum est prélevé lors de la première traite « à la main » ou dans le pot trayeur lorsque celui-ci est propre. Les échantillons sont prélevés dans des pots d'une capacité de 100 ml et sont ensuite congelés rapidement après le prélèvement dans un congélateur à environ -20°C. Les échantillons sont tous identifiés par le numéro de travail de la vache et par la date de prélèvement. Une fois la campagne de prélèvement terminée, les échantillons sont acheminés au service d'alimentation animale de VetAgro Sup sous couvert du froid de façon à ce qu'ils ne décongèlent pas.

Nous avons obtenu 116 échantillons de colostrum de vaches Charolaises et 288 échantillons de vaches Prim Holstein. Tous les échantillons de race Charolaise et 100 échantillons de race Prim Holstein choisis au hasard sont utilisés pour cette première étude.

Chaque échantillon est décongelé lentement à température ambiante avant d'être analysé en deux temps :

- Mesure de la valeur réfractométrique (%brix) avec **un réfractomètre numérique HI 96801 Hanna Instruments** disposant d'une compensation automatique de

température 10 – 40°C, d’une résolution de 0.1 %brix et d’une gamme de 0 à 85 %brix. Les échantillons issus de vaches laitières subissent 2 mesures et ceux issus de vaches allaitantes subissent 3 mesures. Ceci est mis en place pour éviter les erreurs liées au manipulateur, en particulier les défauts de nettoyage du prisme, surtout pour les colostrums allaitants qui sont plus poisseux. Les mesures sont effectuées en plaçant 0.5 ml de colostrum sur le prisme et en lançant la lecture par le réfractomètre.

- Dosage des IgG dans les échantillons réalisé au Laboratoire Vétérinaire Départemental du Rhône (69) par la méthode d’immunodiffusion radiale en utilisant un kit de diagnostic : **Bov IgG IDRing Test®** (IDBiotech Immuno Diffusion Biotechnologies). La gamme de ce kit est de 25 à 200 g/L d’IgG. Les colostrums hors de cet intervalle ne sont pas pris en compte dans les calculs de moyenne et de coefficients de corrélation.

Avant l’étude la stabilité de mesures au réfractomètre en fonction de la température a été vérifiée. Un échantillon de colostrum de Prim Holstein d’un volume plus important a été utilisé. Plusieurs aliquots de ce colostrum sont placés à différentes températures : 4°C, 20°C et 37°C. On a réalisé ensuite une série d’une dizaine de mesures au réfractomètre pour chaque sous-échantillon avant de comparer les mesures.

Les mesures au réfractomètre ont été comparées aux concentrations en IgG obtenues avec la méthode de référence, l’immunodiffusion radiale. Pour cela, le coefficient de corrélation linéaire de Spearman est calculé.

Ensuite, on détermine les seuils en %brix permettant de discriminer les bons colostrum des mauvais en se référant aux valeurs charnières définies dans la littérature, à savoir 50, 80 et 100 g/L d’IgG. Les seuils en %Brix sont choisis en optimisant les valeurs de sensibilité et de spécificité par rapport aux valeurs charnières, en utilisant des courbes ROC et l’indice de Youden. La sensibilité est définie comme la probabilité de détecter les colostrums qui dépassent les valeurs charnières.

3. Résultats

a) Statistiques descriptives

216 échantillons de colostrum ont été analysés, dont 100 de vaches laitières et 116 de vaches allaitantes. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau XVIII : Description statistique des jeux de données pour l’IDR et la réfractométrie numérique

	Prim Holstein	Charolaise
Concentration moyenne IgG (g/L)	68.5	101.2
Valeur %brix moyenne	23.4	25.8
% colostrums < 50 g/L	36.0	4.3
% colostrums < 100 g/L	87.0	54.3

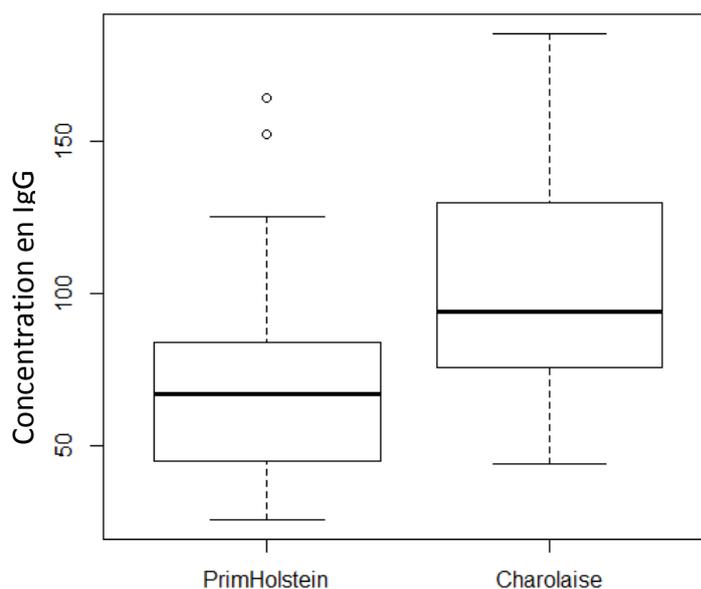


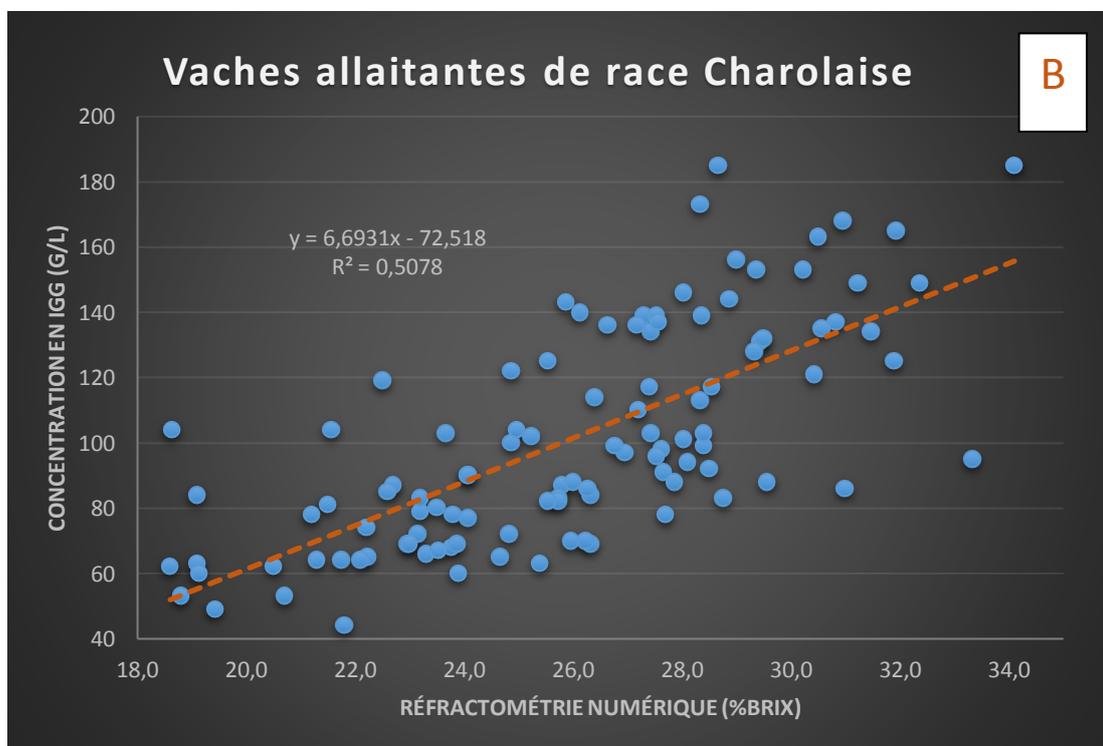
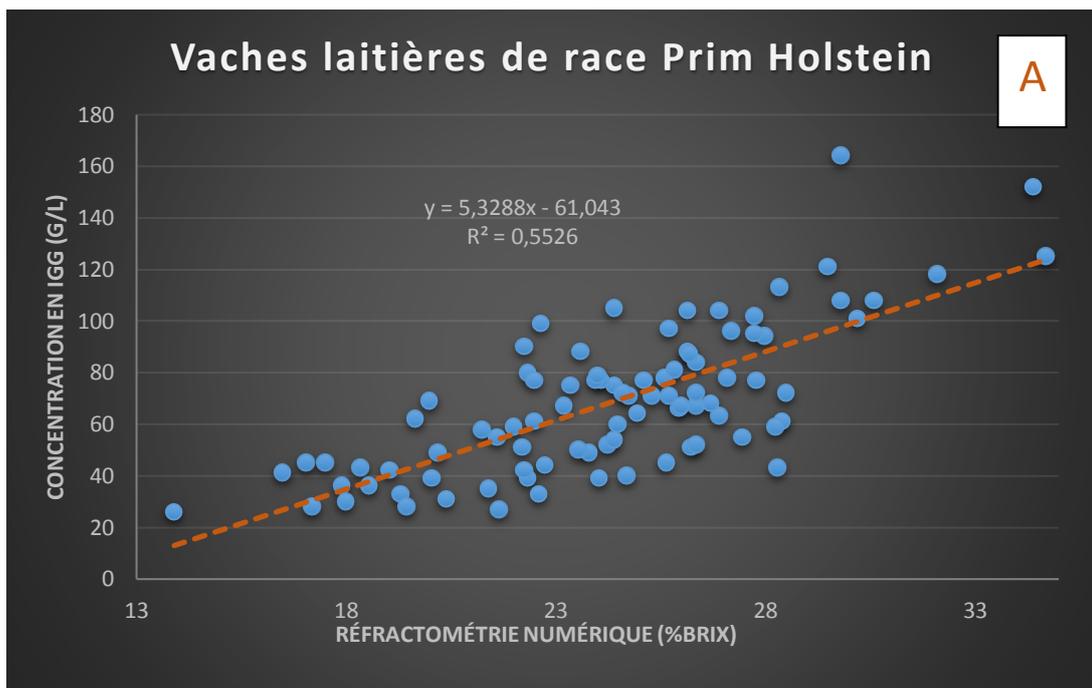
Figure 11 : Distribution de la concentration en IgG dans le colostrum des vaches Prim Holstein et Charolaise

Les vaches laitière produisent un colostrum avec une concentration moyenne de 68.5 g/L d'IgG alors qu'elle est de 101,2 g/L pour les vaches allaitantes. Les distributions des concentrations colostrales en IgG n'étant pas normales, le test de Mann-Whitney-Wilcoxon permet d'affirmer que la concentration moyenne en IgG est significativement plus faible pour les vaches laitières que pour les vaches allaitantes : p-value = $2,5 \times 10^{-11}$. Il en est de même pour la valeur réfractométrique moyenne des colostrums, qui est significativement plus faible pour les Prim Holstein (23.4 %brix) que pour les Charolaises (25.8 %brix) : p-value = $1,5 \times 10^{-4}$.

Dans notre étude, 36% des colostrums de vaches laitières et 54.3% des colostrums de vaches allaitantes sont de qualité insuffisante sur le plan immunologique, lorsqu'on considère les seuils de 50 et 100 g/L d'IgG respectivement.

b) Corrélation entre la réfractométrie numérique et l'immunodiffusion radiale

La performance du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum est étudiée en comparant les valeurs réfractométriques à l'IDR, qui est la méthode de référence. On peut représenter sous la forme d'un nuage de points les deux analyses effectuées sur chaque échantillon.



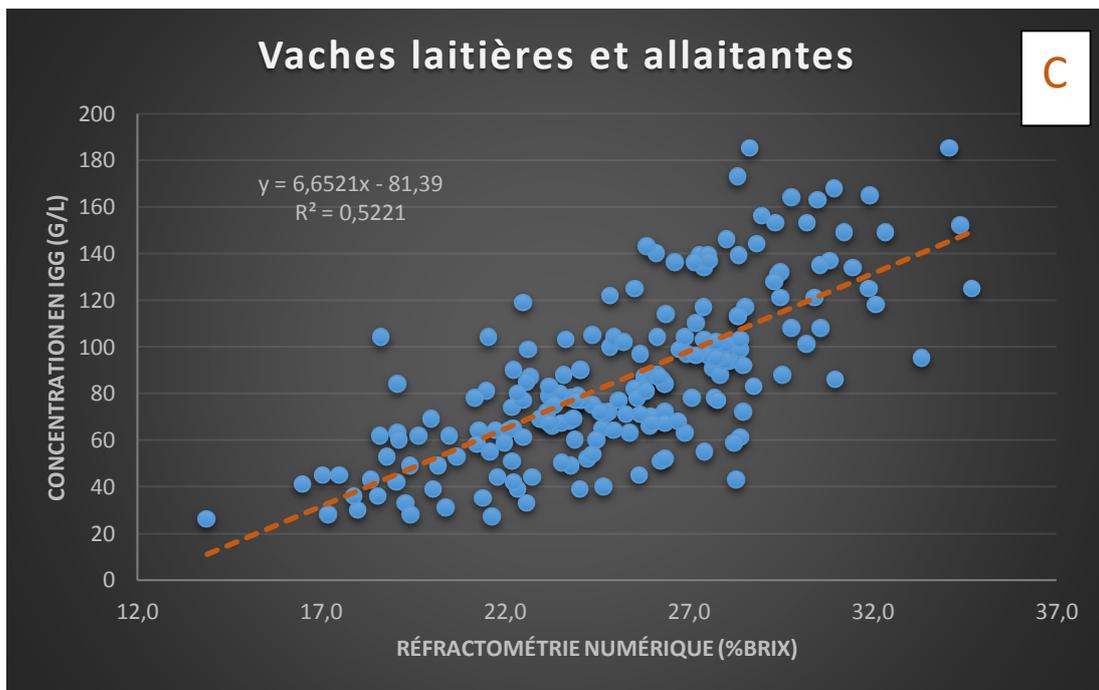


Figure 12 : Représentation sous forme de nuage de points des résultats. Chaque point représente un échantillon associé à sa valeur réfractométrique et sa concentration en IgG. A : Vaches laitières – B : Vaches allaitantes – C : Vaches laitières et allaitantes

A partir de ces représentations graphiques, le modèle linéaire semble le meilleur et un coefficient de corrélation linéaire peut être calculé. Ce dernier représente l’allongement unidirectionnel du nuage de points et est un reflet de la « force » de la corrélation entre les deux séries de valeurs ainsi que la précision de la méthode utilisée. Les nuages de points ne peuvent être considérés comme étant elliptiques. Sur ces représentations, il est déformé par le changement d’échelle des axes. Le coefficient de corrélation r de Spearman est donc calculé.

Tableau XIX : Corrélation linéaire entre l’IDR et la réfractométrie numérique en fonction des populations étudiées

Type de population	Coefficient de corrélation de Spearman (r)	Test de nullité de r p-value
Vaches allaitantes et laitières	0.72	$< 2,2 \times 10^{-16}$
Vaches allaitantes	0.74	$< 2,2 \times 10^{-16}$
Vaches laitières	0.70	$4,0 \times 10^{-10}$

On obtient des coefficients de corrélation linéaire entre les valeurs obtenues par les méthodes d’IDR (en g/L) et de réfractométrie numérique (en %brix) de l’ordre de 0.72. Le test de nullité du coefficient de corrélation, qui compare les coefficients obtenus à un coefficient nul, montre une différence significative, avec des p-values bien inférieures au seuil de significativité de 0.05. Ceci nous permet d’affirmer l’existence d’une corrélation réelle et statistiquement significative entre la méthode d’estimation de la concentration en IgG dans le colostrum ici étudiée et la méthode de référence.

Les coefficients sont assez élevés et témoignent d'une bonne corrélation entre la réfractométrie et la méthode de référence. Les différences de corrélation entre les différentes populations étudiées sont faibles. Cette corrélation est légèrement plus élevée pour les vaches allaitantes. Le réfractomètre numérique semble donc être un outil utilisable dans l'évaluation de la qualité du colostrum aussi bien pour des vaches laitières que pour des vaches allaitantes.

c) Utilisation du réfractomètre comme test diagnostic – Définition des seuils d'interprétation

La corrélation relativement élevée entre la réfractométrie numérique et la méthode de référence, tant pour les colostrums laitiers que les colostrums allaitants, permet d'envisager l'utilisation du réfractomètre numérique en tant que « test diagnostic » dans l'évaluation de la qualité du colostrum. En effet, la corrélation, bien qu'étant significative, est trop faible pour utiliser le réfractomètre comme méthode dosage des IgG dans le colostrum, à travers une courbe d'étalonnage. Ce dernier doit être utilisé comme un test, permettant de classer un colostrum comme ayant une concentration en IgG supérieure ou inférieure à une concentration de référence.

➤ Concentration de 50 g/L d'IgG dans le colostrum

Intéressons-nous dans un premier temps à la concentration de 50 g/L d'IgG dans le colostrum. Elle permet de différencier les colostrums de qualité médiocre, de ceux ayant une qualité acceptable en élevage laitier. Nous nous y intéressons aussi pour les colostrums allaitants.

Nous cherchons à déterminer une valeur seuil en degré brix (%brix), au-dessus de laquelle, on peut considérer le colostrum comme contenant plus de 50 g/L d'IgG et étant par conséquent de qualité acceptable en élevage laitier. Pour ce faire, des valeurs en degré brix sont associées à une sensibilité et une spécificité dans la discrimination entre les bons et les mauvais colostrums. La sensibilité correspond à la probabilité de détecter les bons colostrums. Le meilleur seuil est choisi en optimisant les valeurs de sensibilité et de spécificité en s'aidant d'analyses de courbe ROC et de l'indice de Youden.

Le tableau ci-dessous (tableau XX) a été établi en comparant les valeurs réfractométriques aux concentrations réelles en IgG déterminées par IDR. Il concerne les colostrums de vaches laitières. L'indice de Youden le plus élevé correspond au seuil présentant à la fois la meilleure sensibilité et la meilleure spécificité. L'analyse ROC consiste à choisir le point le moins éloigné du point de coordonnées (0 ; 1), qui lui-même correspond à une sensibilité et une spécificité de 1.

En prenant en compte l'indice de Youden et la courbe ROC, les seuils rendant le test le plus performant sont 22 – 22.4 et 22.8 %brix. Il convient alors de raisonner sur les valeurs de sensibilité et de spécificité. Concernant la qualité du colostrum, utilisée le plus souvent à titre individuel, ce sont les faux positifs qui sont les plus préjudiciables. En effet, un faux positif revient à classer un colostrum médiocre comme étant de qualité suffisante pour assurer un bon transfert d'immunité. Il peut en résulter un échec du transfert d'immunité par surévaluation de la qualité du colostrum et ainsi distribution d'une quantité trop faible de

colostrum. Afin de limiter les faux positifs, il faut privilégier la spécificité. Ainsi, **le seuil de 22.8 %brix convient le mieux pour discriminer les colostrum contenant plus de 50 g/L d'IgG, des colostrum de moins bonne qualité.**

Tableau XX : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches laitières

Concentration de 50 g/L IgG – Vaches laitières					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
18	1	0,36	0,74	1	0,36
19	1	0,47	0,77	1	0,47
20	0,98	0,56	0,80	0,95	0,54
21	0,97	0,67	0,84	0,92	0,64
22	0,94	0,75	0,87	0,87	0,69
22,2	0,92	0,75	0,87	0,84	0,67
22,4	0,88	0,81	0,89	0,78	0,68
22,5	0,88	0,81	0,89	0,78	0,68
22,6	0,84	0,81	0,89	0,74	0,65
22,8	0,83	0,86	0,91	0,74	0,69
23	0,83	0,86	0,91	0,74	0,69
23,5	0,80	0,86	0,91	0,71	0,66
24	0,75	0,89	0,92	0,67	0,64
25	0,59	0,94	0,95	0,57	0,538

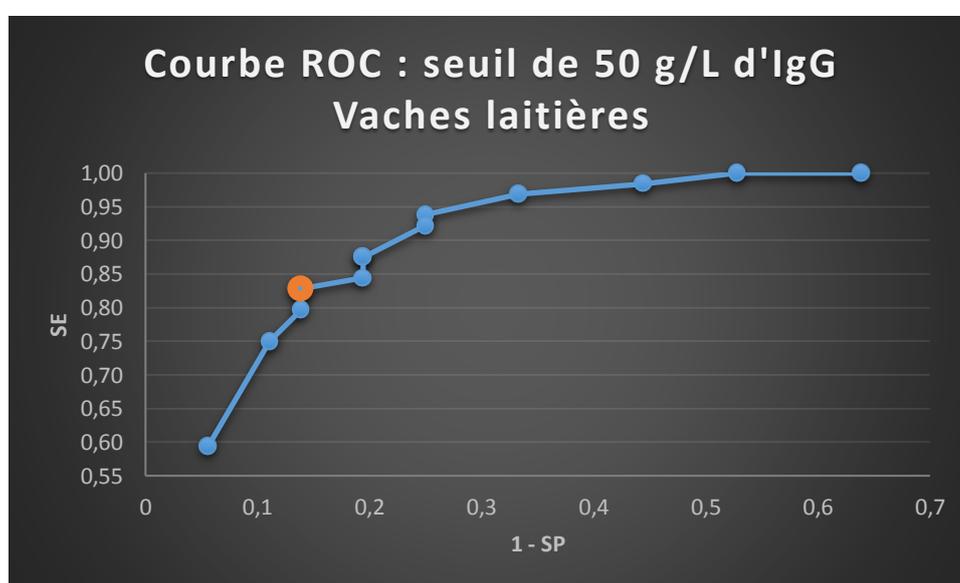


Figure 13 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22.8 %brix

En procédant de la même façon pour les colostrums de vaches allaitantes et la totalité des colostrums on obtient les seuils, associés aux valeurs caractéristiques du test, récapitulés dans le tableau XXI.

Tableau XXI : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques

Concentration de référence (g/L)	Population	Seuil réfractométrique (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN
50	Laitières et allaitantes	22.8	0.82	0.88	0.97	0.54
	Allaitantes	22	0.87	1	1	0.26
		22.8	0.82	1	1	0.23
	Laitières	22.8	0.83	0.86	0.91	0.74

Le seuil de 22.8% brix possède la meilleure combinaison de valeurs de sensibilité et de spécificité pour une concentration de 50 g/L d'IgG pour les colostrums laitiers ainsi que lorsqu'on considère la population de vaches laitières et allaitantes. En ce qui concerne les colostrums allaitants, le seuil de 22% brix présente une sensibilité légèrement plus élevée. Cependant, du fait du faible effectif de colostrums allaitants présentant une concentration en IgG inférieure à 50 g/L (4.3%) entraînant une précision plus faible pour les valeurs caractéristiques, le seuil de 22.8% brix semble convenir aussi pour les colostrums allaitants. Toutefois, une concentration de 50 g/L d'IgG n'est pas pertinente en élevage allaitant.

Les valeurs de sensibilité et de spécificité sont assez élevées, ce qui en fait un test de choix pour déterminer les colostrums ayant une concentration supérieure à 50 g/L. De plus, les valeurs prédictives positives sont excellentes pour les différentes populations de vaches. En effet, lorsque le réfractomètre indique une valeur supérieure à 22.8% brix, dans plus de 90% des cas (100% pour les colostrums allaitants) la concentration en IgG est effectivement supérieure à 50 g/L. Les valeurs prédictives négatives, plus faibles pour les différentes populations étudiées et surtout pour les colostrums allaitants, sont moins importantes à considérer. En effet, le faible nombre de colostrums de bonne qualité classé comme étant de mauvaise qualité, seraient écartés mais il n'y aurait aucune conséquence sur la santé du veau.

➤ Concentration de 80 g/L d'IgG dans le colostrum

La concentration de 80 g/L d'IgG est intéressante aussi bien en élevage laitier qu'en élevage allaitant. En effet, un colostrum laitier dépassant cette concentration est d'excellente qualité et peut être conservé pour des vêlages futurs. Pour un colostrum allaitant, cette concentration définit un premier niveau de qualité même si la concentration de 100 g/L est plus adéquate pour qualifier un colostrum allaitant comme étant de bonne qualité.

Le choix du seuil le plus approprié en degré brix pour discriminer les colostrums contenant plus de 80 g/L d'IgG des colostrums qui en contiennent moins est effectué de la même façon. Les performances du test sont optimisées en utilisant l'analyse ROC et l'indice de Youden.

Les figures ci-dessous récapitulent la procédure utilisée pour des colostrums de vaches allaitantes mais les analyses ont été effectuées pour les différentes populations étudiées.

Tableau XXII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches allaitantes

Concentration de 80 g/L IgG – Vaches allaitantes					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
20	0,96	0,23	0,74	0,73	0,19
21	0,96	0,29	0,76	0,77	0,25
22	0,94	0,40	0,78	0,74	0,34
23	0,90	0,49	0,80	0,68	0,39
23,5	0,89	0,63	0,85	0,71	0,52
24	0,86	0,74	0,89	0,70	0,61
24,5	0,84	0,80	0,91	0,68	0,64
25	0,80	0,86	0,93	0,65	0,66
25,2	0,80	0,86	0,93	0,65	0,66
25,4	0,79	0,86	0,93	0,64	0,65
25,5	0,79	0,89	0,94	0,65	0,67
25,6	0,76	0,89	0,94	0,62	0,65
25,8	0,74	0,89	0,94	0,60	0,62
26	0,71	0,91	0,95	0,58	0,63
27	0,61	0,97	0,98	0,52	0,58
28	0,46	1	1	0,45	0,46
29	0,29	1	1	0,38	0,29

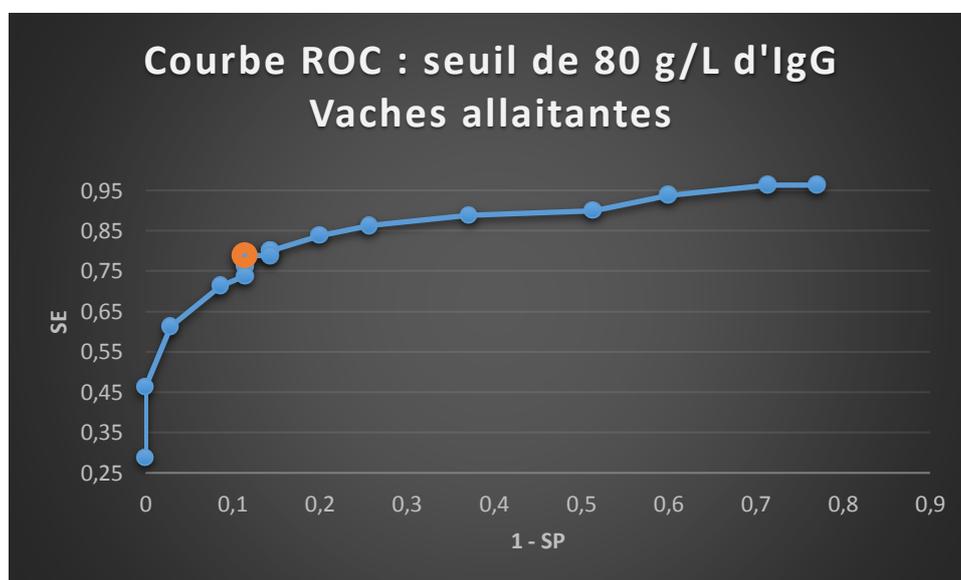


Figure 14 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix

Tableau XXIII : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques

Concentration de référence (g/L)	Population	Seuil réfractométrique (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN
80	Laitières et allaitantes	25.5	0.79	0.80	0.79	0.80
	Allaitantes		0.79	0.89	0.94	0.65
	Laitières		0.80	0.76	0.53	0.92

Le seuil conférant au test diagnostique les meilleures performances est la valeur de 25.5 %brix pour les colostrums de vaches laitières, tout comme pour les colostrums de vaches allaitantes. Les valeurs de sensibilité sont comparables pour les différentes populations considérées mais la spécificité est supérieure pour les colostrums allaitants. De plus, la valeur prédictive positive associée est excellente : 94% des colostrums allaitant dépassant ce seuil ont effectivement une concentration en IgG supérieure à 80 g/L. Le réfractomètre est donc performant pour détecter justement les colostrums contenant plus de 80 g/L, notamment pour les colostrums allaitants

➤ Concentration de 100 g/L d'IgG dans le colostrum

La concentration de 100 g/L d'IgG dans le colostrum est particulièrement intéressante en élevage allaitant. En effet, on considère qu'un colostrum est de bonne qualité lorsqu'il dépasse cette concentration.

La procédure mise en œuvre pour déterminer le meilleur seuil en degré brix pour discriminer les colostrums plus concentrés en immunoglobulines que cette valeur, des colostrums qui le sont moins est la même. On reprend ici l'exemple des colostrums produits par des vaches charolaises.

Tableau XXIV : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminés avec des colostrums de vaches allaitantes

Concentration de 100 g/L IgG – Vaches allaitantes					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
24	0,90	0,51	0,60	0,87	0,41
25	0,85	0,60	0,64	0,83	0,45
25,5	0,83	0,62	0,64	0,81	0,44
26	0,79	0,70	0,68	0,80	0,49
26,5	0,75	0,78	0,74	0,79	0,53
26,8	0,73	0,79	0,75	0,78	0,53
27	0,73	0,81	0,76	0,79	0,54
27,5	0,62	0,81	0,73	0,72	0,43
28	0,58	0,89	0,81	0,72	0,47
29	0,39	0,95	0,87	0,65	0,34
30	0,29	0,97	0,88	0,62	0,26

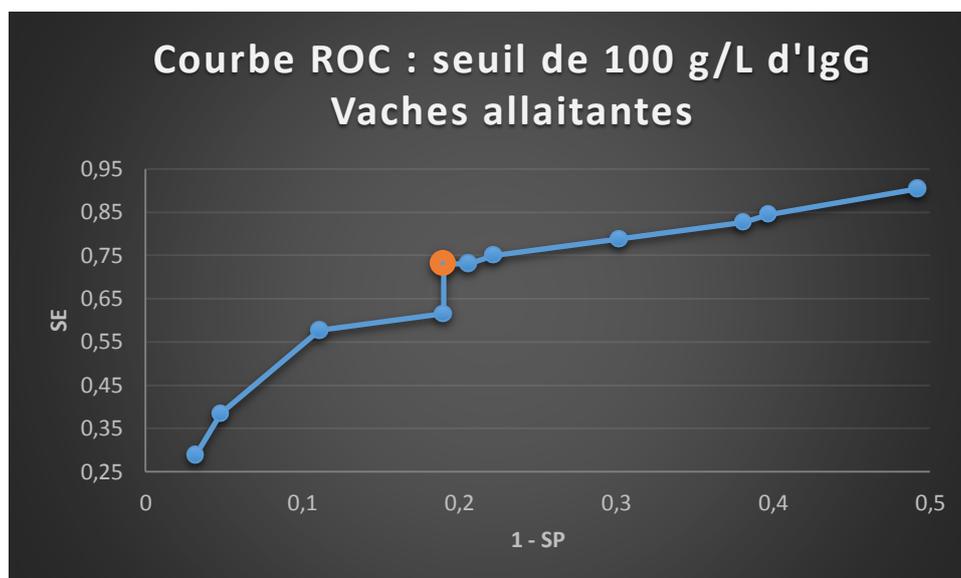


Figure 15 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 27 %brix

Tableau XXV : Seuil en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG dans le colostrum pour les différentes populations étudiées, avec les valeurs caractéristiques

Concentration de référence (g/L)	Population	Seuil réfractométrique (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN
100	Laitières et allaitantes	26.8	0.75	0.84	0.67	0.89
	Allaitantes	27.0	0,73	0,81	0,76	0,79
	Laitières	26,8	0,85	0,87	0,5	0,97

Les seuils correspondant à la concentration de 100 g/L sont légèrement différents pour les colostrums allaitants et les colostrums laitiers. Le seuil de 26.8 %brix convient le mieux pour les vaches laitières alors que le seuil de 27 %brix est le meilleur en élevage allaitant.

Concernant les performances du test, on observe une différence entre les deux populations. En effet, les valeurs de sensibilité et de spécificité sont plus faibles pour les colostrums allaitants alors qu'elles sont très bonnes pour les Prim Holstein. Cependant, il convient de considérer aussi les valeurs prédictives. La valeur prédictive positive, qui est l'indice le plus intéressant pour l'évaluation individuelle d'un colostrum, est bien plus élevée pour les vaches Charolaises (76%) que pour les vaches laitières (50%). Elle reste cependant plus modeste que pour la concentration de 80 g/L. Ce test est donc assez performant, tant en élevage laitier qu'en élevage allaitant, mais l'est moins que pour les deux autres concentrations étudiées.

d) Stabilité à la température

Trois échantillons d'un même colostrum placés à trois températures différentes (4, 20 et 37°C) subissent 10 mesures chacun au réfractomètre numérique. Les résultats sont représentés dans la figure ci-dessous (Figure 16).

Stabilité à la température du réfractomètre numérique

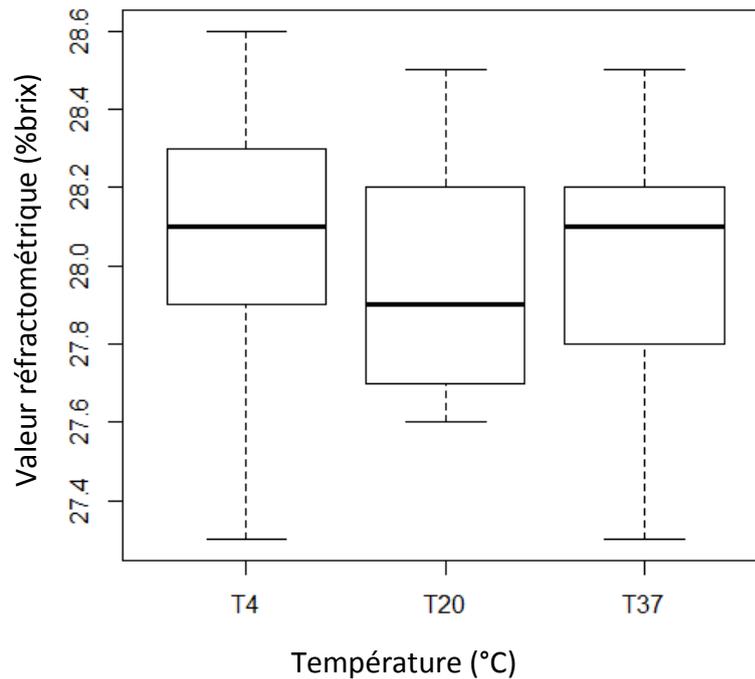


Figure 16 : Distribution des mesures effectuées avec le réfractomètre numérique de 3 échantillons d'un même colostrum placés à 4, 20 et 37°C

On réalise un test de Kruskal-Wallis pour comparer les distributions ainsi obtenues. On ne met pas en évidence de différence significative entre les valeurs réfractométriques obtenues aux différentes températures ($p=0.31$). On conclut donc à une bonne stabilité à la température du réfractomètre numérique.

4. Discussion

a) Effet de la race

Notre étude porte à la fois sur des colostrums issus de vaches laitières et de vaches allaitantes, tout en séparant les résultats pour chaque population. A notre connaissance, cette étude est la première à s'intéresser spécifiquement aux vaches allaitantes et à définir des seuils de %brix permettant d'évaluer la qualité de ces colostrums. D'autre part, nous nous sommes intéressés à des concentrations charnières autres que celle de 50 g/L d'IgG, à savoir 80 et 100 g/L d'IgG. Seul Cornille (2014) inclue plusieurs races allaitantes à son étude sans les séparer des vaches laitières dans ses résultats. Il considère les concentrations de 50 et 100 g/L d'IgG dans le colostrum.

Nous n'avons inclus dans l'étude que deux races de vaches, les Prim Holstein et les Charolaises, qui sont d'ailleurs largement représentées en France. Les performances du réfractomètre numérique sont équivalentes ou similaires mais les seuils utilisés sont différents

pour ces deux races. Il semble donc être possible d'extrapoler ces performances, et donc la façon d'évaluer la qualité d'un colostrum, à toutes les races bovines, aussi bien laitières et allaitantes.

b) Corrélation entre la réfractométrie numérique et l'immunodiffusion radiale

Nous avons choisi de déterminer des coefficients de corrélation de Spearman pour comparer la méthode étudiée ici à la méthode de référence. Tous les auteurs n'ont pas choisi ce coefficient. En effet, considérant la distribution de leurs valeurs comme normale, certaines publications utilisent le coefficient de Pearson.

Tableau XXVI : Comparaison des coefficients de corrélation linéaire reliant la méthode réfractométrique à l'immunodiffusion radiale (VA = vaches allaitantes, VL = vaches laitières)

Etude	Nombre et type racial des animaux	Coefficient de corrélation
Thèse STENGER 2016	100 VL	0.70
	116 VA	0.74
Chigerwe 2008	171 - VL	0.64
Bielmann 2010	273 - VL	0.73
Cornille 2014	205 – VA et VL	0.55
Morill 2015	58 - VL	0.79
Bartier 2015	460 - VL	0.64

Concernant les colostrums issus de vaches laitières, le coefficient de corrélation avancé par notre étude est comparable à ceux rapportés dans la littérature scientifique. Il est inférieur à ceux décrits dans les publications de Biemann (2010), Bartier (2015) et Morill (2015) et supérieur à ceux avancés par Chigerwe (2008) et Bartier (2015). La valeur de Morill (2015) a été obtenue avec des vaches de race Jersey. En conclusion, la corrélation est relativement élevée entre la réfractométrie numérique et l'IDR pour des colostrums laitiers.

Pour les vaches allaitantes, le coefficient de corrélation obtenu est bien supérieur à celui rapporté par Cornille (2014) qui inclue différentes races de vaches laitières et allaitantes.

c) Utilisation du réfractomètre comme test diagnostique – Définition des seuils d'interprétation

Nous avons retenu le seuil 22.8 %brix pour discriminer les colostrums plus ou moins riches en IgG que la concentration de 50 g/L d'IgG.

Plusieurs publications définissent aussi un seuil correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG. Ces études ne s'intéressent qu'au colostrum de vaches laitières. En effet, la concentration de 50 g/L d'IgG est peu utilisée en élevage allaitant.

Les résultats de notre étude sont cohérents avec ceux publiés par les différents auteurs cités dans le tableau ci-dessous. En effet, ils préconisent un seuil de 22 ou 23 %brix. Seul Morill

(2015) avance un seuil de 18 %brix. Ce dernier a réalisé son étude avec des colostrums de vaches laitières de race Jersey, ce qui la rend difficilement comparable avec des autres publications. En effet, cette race de vache produit un lait très riche en protéines et en matières grasses et la valeur réfractométrique dépend de l'ensemble des solides dissous. Nous sommes plus précis dans la définition de notre seuil. Cette précision est rendue possible par la bonne résolution du réfractomètre numérique et permet d'améliorer sensiblement la spécificité du test.

Tableau XXVII : Comparaison des seuils et des caractéristiques intrinsèques du test d'évaluation de la qualité du colostrum au réfractomètre numérique pour une concentration de 50 g/L d'IgG

Etude	Type racial	Seuil (%brix)	Sensibilité	Spécificité
Thèse STENGER 2016	VL	22.8	0.83	0.86
	VA		0.82	1
Chigerwe 2008	VL	22	0.78	0.75
Bielmann 2010	VL	22	0.93	0.80
Morill 2015	VL	18	0.92	0.95
Bartier 2015	VL	23	0.83	0.66

Les valeurs de sensibilité et de spécificité de notre étude sont comparables avec celles publiées. Une incohérence existe avec la publication de Bartier (2015) qui propose un seuil plus élevé de 23 %brix assorti d'une spécificité plus faible. Finalement, les valeurs caractéristiques des tests ainsi proposés dépendent de l'échantillon sur lequel on réalise l'étude, en particulier de sa taille. Les seuils proposés, en revanche, sont homogènes. On peut conclure à une bonne performance du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum par rapport à la concentration de 50 g/L d'IgG.

A notre connaissance, aucune étude n'a évalué la performance du réfractomètre numérique pour estimer la qualité d'un colostrum par rapport à la concentration de 80 g/L, ni en élevage allaitant, ni en élevage laitier.

Cornille (2014) a évalué le réfractomètre numérique dans la discrimination de la qualité des colostrums laitiers et allaitants par rapport à une concentration de 100 g/L d'IgG. Nous avançons le seuil de 26.8 %brix lorsqu'on considère une population de vaches laitières et allaitantes. Cornille (2014) propose quant à lui le seuil de 27 %brix. Les deux études sont donc en totale cohérence. Il rapporte les valeurs caractéristiques suivantes : une sensibilité de 0.58 et une spécificité de 0.83, contre 0.75 et 0.84 respectivement dans notre étude. Les spécificités sont similaires mais la sensibilité est médiocre dans son étude.

5. Conclusion

Le réfractomètre numérique est un outil avec de bonnes performances dans l'évaluation de la qualité du colostrum. Il est utilisable à l'échelle individuelle, sur le terrain, en toute simplicité avec les seuils que nous avons déterminés. En effet, ils sont choisis en limitant le

coût des faux positifs qui sont les plus préjudiciables. Il est utilisable de la même façon à l'échelle du troupeau dans le cadre de l'évaluation de la qualité du colostrum dans élevage comme facteur de risque de l'échec du transfert d'immunité passive.

La réfractométrie numérique présente de nombreux avantages : simplicité d'utilisation, coût modéré, fiabilité, stabilité à la température, faible volume de colostrum nécessaire pour réaliser la mesure et absence de latitude d'interprétation par rapport au réfractomètre optique.

Le tableau ci-dessous (tableau XXVIII) récapitule les seuils à associer aux concentrations de 50, 80 et 100 g/L d'IgG ainsi que les valeurs caractéristiques montrant la performance des tests.

Tableau XXVIII : Seuils et performances des tests d'évaluation de la qualité du colostrum pour les concentrations de 50, 80 et 100 g/L d'IgG pour les vaches laitière et allaitantes

Concentration de référence (g/L)	Population	Seuil réfractométrique (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN
50	Laitières	22.8	0.83	0.86	0.91	0.74
80	Laitières	25.5	0.80	0.76	0.53	0.92
	Allaitantes		0.79	0.89	0.94	0.65
100	Allaitantes	27	0,73	0,81	0,76	0,79

Les performances des tests d'évaluation de la qualité du colostrum sont bonnes pour les concentrations de 50 et 80 g/L d'IgG. A cette dernière concentration les valeurs caractéristiques sont meilleures pour les colostrums allaitants, en particulier la valeur prédictive positive qui est excellente.

Pour la concentration de 100 g/L d'IgG, les performances sont un peu moins bonnes avec des valeurs qui restent tout de même assez élevées.

B. Evaluation de la variabilité des mesures aux réfractomètres optique et numérique

1. Introduction

L'évaluation de la qualité du colostrum est une étape essentielle dans le management de la prise colostrale. Comme évoqué précédemment, le vétérinaire tout comme l'éleveur, peuvent être amenés, dans certaines situations, à avoir besoin de déterminer la qualité d'un colostrum. A l'issue de l'analyse de la littérature, seuls deux outils fiables utilisables sur le terrain se dégagent : le réfractomètre numérique et le réfractomètre optique. Des performances similaires de ces deux outils ont été rapportées dans plusieurs articles.

Ces méthodes d'évaluation de la qualité du colostrum sont utilisables en élevage, simples et rapides, ne nécessitant qu'une très petite quantité de colostrum. En termes de coût, le réfractomètre numérique est plus onéreux que le réfractomètre optique. Cette considération est susceptible d'amener les éleveurs et les vétérinaires à privilégier l'outil optique.

Cependant, contrairement au réfractomètre numérique, l'analyse d'un colostrum au réfractomètre optique fait intervenir une « lecture » par la personne qui effectue la mesure. En effet, la valeur est obtenue en reportant la ligne de séparation entre la zone incolore et la zone colorée sur l'échelle graduée. L'obtention de la valeur est donc sujette à une certaine interprétation par la personne qui effectue la lecture. Cette latitude d'interprétation est d'autant plus importante lorsque la transition entre les zones n'est pas nette. Cette transition peu nette est rapportée pour certains colostrums. Le réfractomètre numérique dispose d'une règle de décision électronique unique prise en compte dans son évaluation et dans la définition des seuils.

Nous avons évalué la variabilité individuelle de lecture au réfractomètre optique et au réfractomètre numérique.

2. Matériel et méthode

Afin d'étudier et de quantifier la variabilité individuelle de lecture au réfractomètre optique, quatre colostrums de vaches laitières de race Prim Holstein sont utilisés. Ces colostrums avaient été évalués une première fois au réfractomètre numérique et sont choisis de manière à représenter une large gamme de valeurs.

Les colostrums sont numérotés de 1 à 4 et sont associées respectivement aux valeurs réfractométriques suivantes, déterminées précédemment, à savoir : 20,2 – 25,8 – 28,8 et 30,4 %brix respectivement. Ces colostrums subissent une seconde décongélation lente à température ambiante. Ils représentent la gamme de qualité que l'on trouve classiquement en élevage laitier, mais aussi en élevage allaitant, allant d'un colostrum de faible qualité à un colostrum d'excellente qualité.

Chaque colostrum est analysé par **22 opérateurs différents** en deux temps :

- Une mesure au **réfractomètre optique RSG – 100 ATC**. Ce réfractomètre dispose d'une plage de lecture de 0 à 32 %brix et d'une compensation automatique de température. La précision donnée par le fabricant est de 0.2 %brix. Les mesures sont effectuées à une température de 20°C et après avoir étalonné l'appareil avec de l'eau distillée.
- Une mesure au **réfractomètre numérique HI 96801 Hanna Instruments** disposant d'une compensation automatique de température et d'une gamme de 0 à 85 %brix. La précision de 0.2 %brix est la même que pour le réfractomètre optique. L'étalonnage est réalisé de la même façon que pour la méthode optique.

Au final, chacun des quatre colostrums subit une série de 22 lectures au réfractomètre optique et 22 lectures au réfractomètre numérique.

Pour l'analyse statistique, les variances de la série de données sont évaluées et comparées à l'aide du test de Bartlett qui permet de mettre en évidence une différence significative entre deux ou plusieurs variances. Cette dernière est un paramètre de dispersion traduisant la variabilité des mesures effectuées pour un colostrum et une méthode donnée.

3. Résultats

Pour chaque colostrum et chaque méthode de mesure, la moyenne, la variance et le coefficient de variation sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau XXIX).

Les moyennes des valeurs réfractométriques pour chaque colostrum sont proches entre les deux méthodes de mesure. Il existe tout de même des différences qui restent globalement faibles.

En ce qui concerne les variances, elles sont relativement homogènes entre les quatre colostrums pour les mesures effectuées au réfractomètre numérique. Cependant, le test de Bartlett indique une différence significative entre ces variances : $p\text{-value} = 3.3 \times 10^{-8}$. La variance la plus élevée est obtenue pour le colostrum 3.

Tableau XXIX : Moyenne et paramètre de dispersion des séries de mesures effectuées aux réfractomètres numérique et optique par 22 lecteurs différents sur quatre colostrums de concentration en IgG croissante du colostrum 1 à 4

Comparaison des réfractomètres optique et numérique				
	Colostrum 1	Colostrum 2	Colostrum 3	Colostrum 4
Nombre de lecteurs	22	22	22	22
Lectures au réfractomètre optique				
Moyenne (%brix)	20,1	25,3	28,8	30,6
Variance	0,07	0,04	0,11	0,27
Coeff. Variation CV (%)	0,37	0,16	0,40	0,90
Lectures au réfractomètre numérique				
Moyenne (%brix)	20,79	26,11	28,99	30,75
Variance	0,00	0,01	0,04	0,01
CV (%)	0,02	0,03	0,14	0,03

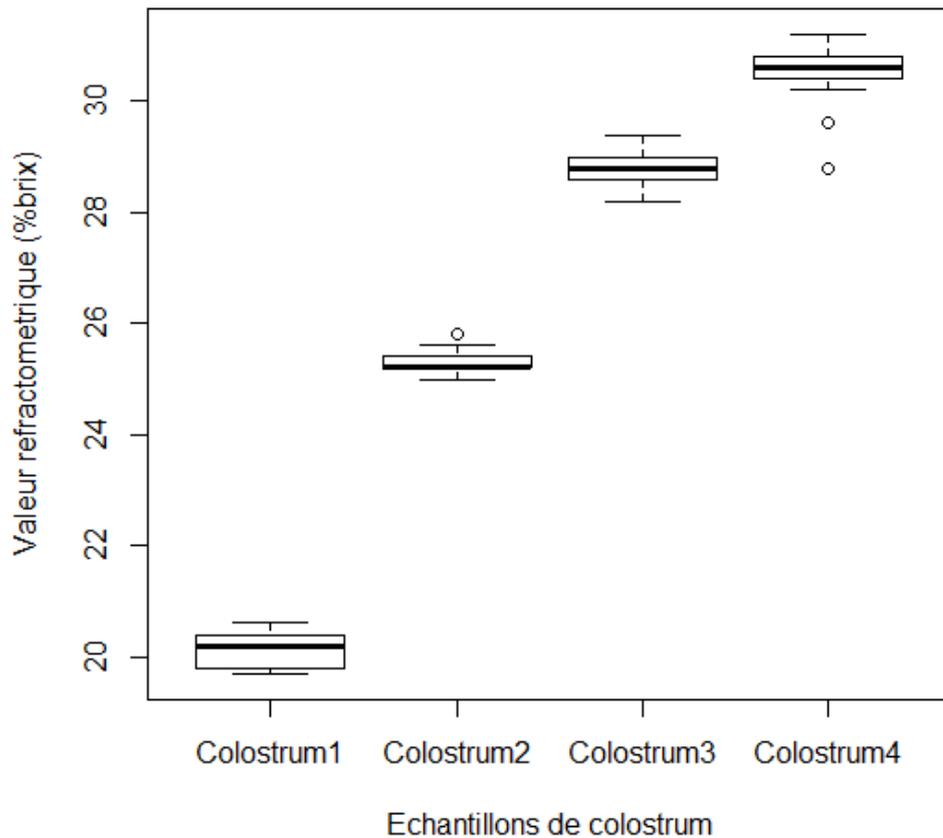


Figure 17 : Représentation de la distribution des mesures effectuées au réfractomètre optique pour les quatre colostrums de qualité croissante

Les variances sont plus hétérogènes pour les séries de valeurs obtenues avec le réfractomètre optique. Elles augmentent avec la qualité du colostrum. En effet, la variance est presque 4 fois plus élevée pour le colostrum ayant la concentration en IgG la plus élevée par rapport à celui ayant la plus faible. Cette tendance est confirmée par le test de Bartlett qui met en évidence une différence significative entre ces variances : $p\text{-value} = 1.3 \times 10^{-4}$.

On peut affiner la comparaison des variances en fonction de la qualité du colostrum en les comparant deux à deux pour chaque méthode d'évaluation de la qualité du colostrum. Les résultats sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous (Tableau XXX).

Tableau XXX : Comparaison deux à deux des variances des séries de lectures aux réfractomètres optique et numérique en utilisant le test de Bartlett. Des exposants différents au niveau des variances indiquent qu'elles sont significativement différentes. Les cases vertes correspondent aux résultats significatifs

Comparaison des variances au réfractomètre optique				
	Colostrum 1	Colostrum 2	Colostrum 3	Colostrum 4
Variance	0,07 ^a	0,04 ^{ab}	0,11 ^{ac}	0,27 ^c
Colostrum 1		0.16	0.32	4.1 x 10 ⁻³
Colostrum 2	0.16		0.018	4.0 x 10 ⁻⁵
Colostrum 3	0.32	0.018		0.052
Colostrum 4	4.1 x 10 ⁻³	4.0 x 10 ⁻⁵	0.052	

Comparaison des variances au réfractomètre numérique				
	Colostrum 1	Colostrum 2	Colostrum 3	Colostrum 4
Variance	0,00 ^a	0,01 ^{ab}	0,04 ^c	0,01 ^b
Colostrum 1		0.051	1.8 x 10 ⁻⁷	0.030
Colostrum 2	0.051		2.8 x 10 ⁻⁴	0.82
Colostrum 3	1.8 x 10 ⁻⁷	2.8 x 10 ⁻⁴		5.8 x 10 ⁻⁴
Colostrum 4	0.030	0.82	5.8 x 10 ⁻⁴	

Pour les mesures effectuées au réfractomètre optique, la variance augmente pour les deux colostrums les plus riches en IgG de façon significative. Concernant le réfractomètre numérique, la variance est significativement plus importante pour le colostrum 3, de qualité intermédiaire élevée.

Après avoir comparé les différents colostrums, comparons les deux méthodes entre elles. **Pour chaque colostrum, la variance de la série de lectures est significativement supérieure pour le réfractomètre optique (p < 0.05).**

Les diagrammes ci-dessous nous permettent de juger de la pertinence biologique de ces données statistiques. Les variances sont représentées avec des échelles identiques pour les deux méthodes de mesures. Il en résulte une variance réellement plus élevée pour les mesures effectuées au réfractomètre optique pour les colostrums les plus riches en IgG. Elle ne semble pas impactante biologiquement concernant le réfractomètre numérique. On peut en conclure qu'il existe une variabilité individuelle plus grande pour les mesures effectuées sur des colostrums de qualité élevée au réfractomètre optique.

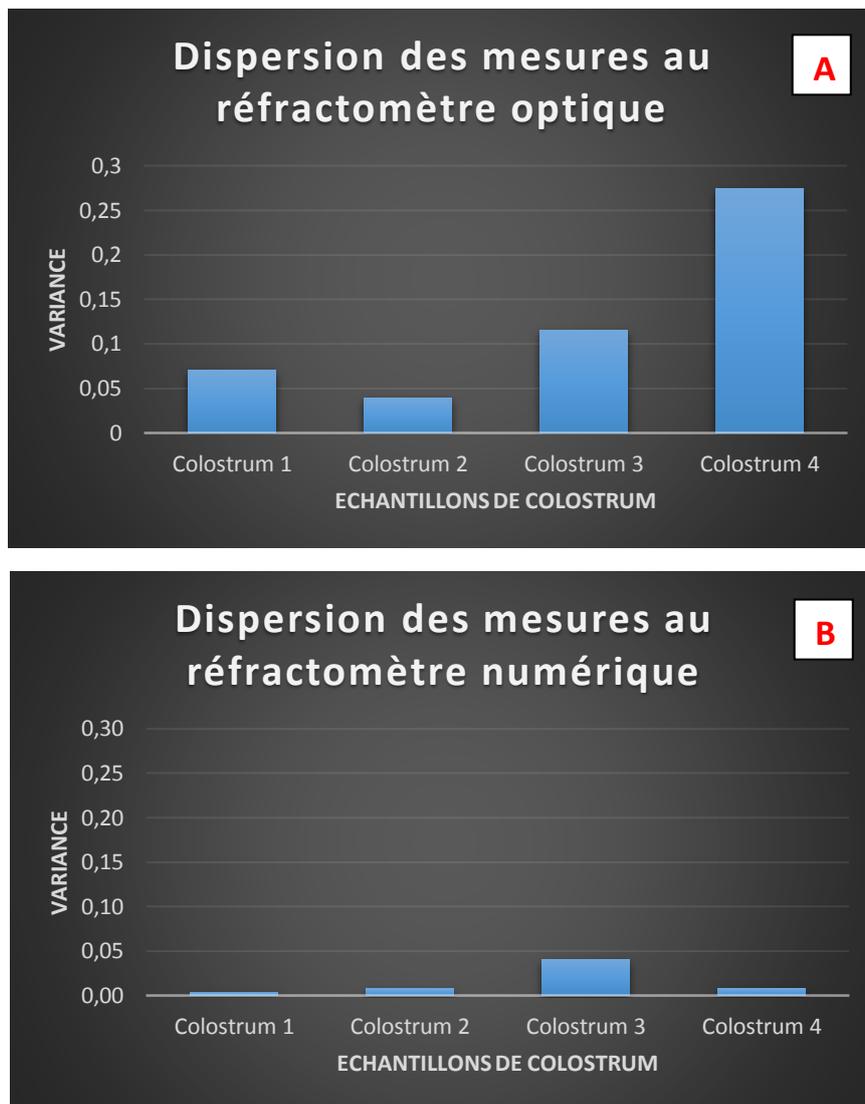


Figure 18 : Représentation graphique des variances des séries de mesures sur chaque colostrum, effectuées avec un réfractomètre optique (A) et numérique (B), selon une échelle identique

Une latitude d'interprétation est présente pour les colostrums riches en IgG au réfractomètre optique. Ceci s'explique par l'existence d'une bande de transition entre la zone incolore et la zone colorée au réfractomètre optique. Cette bande correspond à une zone floue dans la zone de transition. La largeur de cette zone augmente avec la qualité du colostrum (figure 19). On remarque une bande de transition de plus en plus épaisse et de moins en moins nette entre le colostrum 1 et le colostrum 4. Lorsque la concentration en IgG du colostrum augmente, il est de plus en plus difficile de donner une valeur précise sur l'échelle du %brix. Les lectures pour les colostrums de bonne qualité sont donc sujettes à une certaine interprétation de la part du lecteur.

Mesures au réfractomètre optique de quatre colostrums

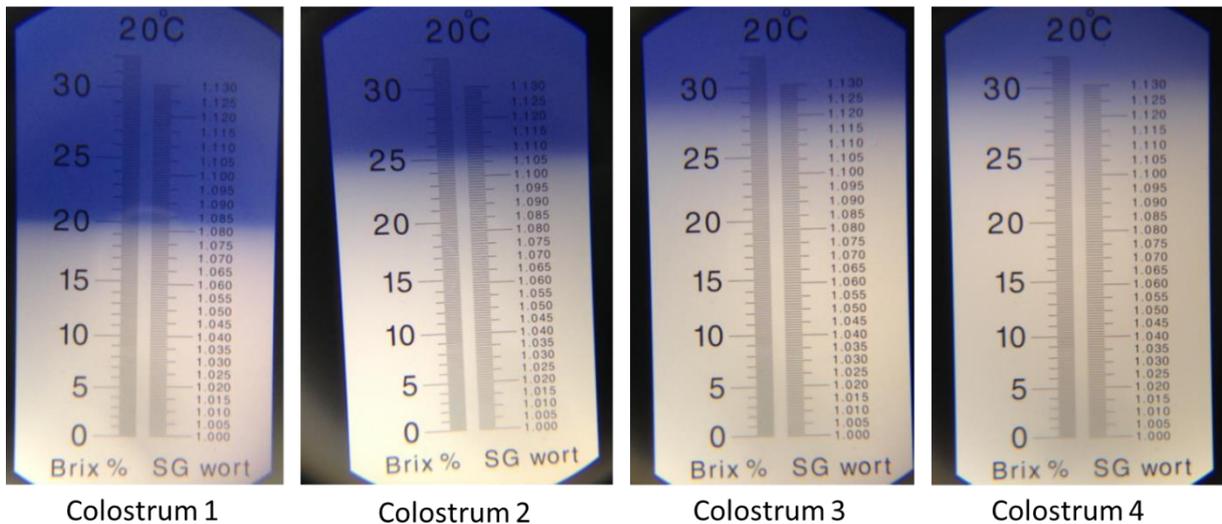


Figure 19 : Représentation des visuels des lecteurs lors de mesure au réfractomètre optique pour les quatre colostrums testés

4. Discussion

Une variabilité individuelle de la lecture au réfractomètre optique plus élevée pour les colostrums de très bonne qualité a été mise en évidence. Peu de publications s'intéressent à ce sujet. Dinsmore (2008) rapporte une difficulté de lecture au réfractomètre optique due à une bande de transition plus ou moins large plutôt qu'une ligne de séparation nette. Il estime que 25% des colostrums sont sujets à cette difficulté de lecture et explique la formation de cette bande de transition par la forte teneur en matière grasse de ces colostrums. De façon empirique, on constate que les colostrums ayant les valeurs réfractométriques les plus élevées sont plus poisseux, plus épais. En effet, parmi les quatre colostrums testés dans notre étude, les colostrums 3 et 4, les plus concentrés en IgG, sont bien plus poisseux que les colostrums de moins bonne qualité. Ceci confère un certain degré d'opacité à la lumière au colostrum, qui pourrait expliquer l'existence de cette bande de transition. Ainsi, pour les colostrums les plus riches en IgG, notamment pour ceux produits par des vaches allaitantes, la difficulté de lecture et la nécessité d'interprétation est un frein dans l'utilisation du réfractomètre optique. Concernant le réfractomètre numérique, il existe aussi des différences de variabilité dans les mesures en fonction de la qualité du colostrum. La variabilité est la plus importante pour le colostrum 3 et non pour le colostrum 4. Cette variabilité est beaucoup plus faible entre les différents colostrums testés. Cette méthode d'évaluation de la qualité du colostrum est plus homogène. En effet, une règle de décision numérique dans la construction de la valeur réfractométrique ainsi que l'affichage digital de la valeur permet de s'affranchir complètement de la variabilité individuelle de lecture. La seule variabilité, qui est évaluée ici,

est une variabilité intrinsèque à l'appareil dans l'établissement de la valeur indiquée sur l'écran.

Lorsque l'on compare la variabilité individuelle de lecture au réfractomètre optique à la variabilité intrinsèque du réfractomètre numérique, la variabilité individuelle est significativement plus importante. Cela s'exprime réellement pour les colostrums les plus riches en IgG, ayant la bande de transition la plus large et la moins nette.

Cependant, il convient de s'interroger sur l'implication biologique de cette variabilité, qu'elle soit individuelle ou liée au fonctionnement de l'appareil. Les coefficients de variation sont tous inférieurs à 1% quelle que soit la méthode évaluée. D'autre part, les valeurs des variances sont faibles. En effet, la variance la plus élevée est de 0.27 %brix pour le colostrum 4 lorsque les mesures sont réalisées au réfractomètre optique. Toutes les autres variances, pour les deux méthodes, sont inférieures à 0,2 %brix. Or, la précision des réfractomètres numérique et optique donnée par le fabricant est de 0.2 %brix. Seule une variance dépasse de peu cette valeur de précision, les autres sont inférieures. Même si la variabilité augmente avec la qualité du colostrum et lorsqu'on utilise un modèle optique, elle reste faible par rapport à la valeur réfractométrique. Ceci est à mettre aussi en relation avec l'utilisation du réfractomètre. En effet, la réfractométrie n'est pas une méthode de dosage des IgG dans le colostrum mais est utilisée comme un test pour classer un colostrum comme étant plus ou moins riche en IgG qu'une concentration de référence, en l'occurrence 50 ou 100 g/L. La variabilité identifiée ici, qu'elle soit liée à l'opérateur ou à l'appareil, n'influe pas sur le classement d'un colostrum comme étant de qualité suffisante ou non.

5. Conclusion

La variabilité individuelle de la lecture au réfractomètre optique est significativement plus grande que la variabilité intrinsèque du réfractomètre numérique. De plus, elle augmente avec la qualité du colostrum. Cependant, elle reste faible malgré la difficulté de lecture induite par l'existence de la bande de transition pour les colostrums de haute qualité.

Le réfractomètre optique est donc un outil aussi fiable que le réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité d'un colostrum. Son utilisation est plus difficile et moins agréable que le réfractomètre numérique du fait de la difficulté d'adjoindre une valeur précise à la bande de transition qui peut être large. Le réfractomètre numérique semble donc être une meilleure option en élevage allaitant où les colostrums susceptibles d'être associés à une bande de transition large sont plus nombreux.

C. Evaluation du transfert d'immunité passive

1. Introduction

L'évaluation du transfert d'immunité passive est en enjeu majeur en élevage bovin, principalement en ce qui concerne la santé des veaux (Beam 2009). Contrairement au colostrum, l'évaluation du transfert d'immunité passive se fait généralement à l'échelle du troupeau. Elle permet de se rendre compte de l'efficacité du management de transfert d'immunité au sein d'un élevage. Cette évaluation est réalisée dans la majorité des cas au cours d'un audit, et permet de savoir si le transfert d'immunité correspond à un levier d'amélioration de l'état sanitaire des veaux. Des concentrations sériques en IgG permettant de vérifier la réussite du transfert d'immunité ont été définies. On considère ce dernier comme adéquat lorsque la concentration sérique en IgG dépasse 10 et 16 g/L en élevage laitier et allaitant, respectivement (Wittum 1995, Dewell 2006, Godden 2008, Beam 2009, Waldner 2009, Biemann 2010, Vandeputte 2011).

Le réfractomètre numérique a été évalué comme un moyen d'évaluer le transfert colostrale dans quelques publications. Ces publications s'intéressent surtout aux veaux laitiers en considérant la concentration de 10 g/L d'IgG dans le sang. Peu d'études s'intéressent à l'élevage allaitant en considérant la concentration de 16 g/L d'IgG.

Contrairement au colostrum, on considère que le statut physiologique, et en particulier la concentration sérique en protéines totales, est identique pour les veaux laitiers et allaitants.

Le but de cette deuxième étude est d'évaluer la pertinence de l'utilisation d'un réfractomètre numérique calibré en degré brix (%brix) dans l'estimation de la qualité du transfert d'immunité passive par comparaison à l'immunodiffusion radiale, qui est considérée comme la méthode de référence. L'objectif est également de proposer des seuils en %brix correspondant à des concentrations en IgG « charnières », associés à des valeurs de sensibilité et de spécificité, permettant d'interpréter les résultats réfractométriques.

2. Matériel et méthodes

Afin d'étudier le transfert d'immunité passive, des prélèvements sanguins ont été réalisés sur des jeunes veaux entre 1 et 7 jours d'âge dans 5 élevages allaitants de race Charolaise dans le Nord de la Bourgogne et dans 7 élevages laitiers de race Prim Holstein dans les départements de la Moselle (57) et du Bas-Rhin (67).

En élevage allaitant, les prises de sang sont réalisées sur des tubes secs gélosés qui sont ensuite centrifugés afin de séparer le sérum qui est ensuite congelé. En élevage laitier, les prélèvements de sang sont réalisés sur tube sec sans gélose. Le caillot, une fois formé, est retiré et le sérum est congelé. Les sérums sont préalablement identifiés avant la congélation à -20°C puis transférés au service d'alimentation animale de VetAgro Sup – Campus vétérinaire de Lyon sous couvert du froid négatif. Ainsi, 74 veaux charolais et 60 veaux Prim Holstein ont été prélevés.

Chaque échantillon est décongelé lentement à température ambiante avant d’être analysé en deux temps :

- Mesure de la valeur réfractométrique (%brix) avec **un réfractomètre numérique HI 96801 Hanna Instruments** disposant d’une compensation automatique de température 10 – 40°C, d’une résolution de 0.1 %brix et d’une gamme de 0 à 85 %brix. Chaque échantillon subit deux mesures pour éviter les erreurs liées à l’opérateur. La mesure au réfractomètre numérique est réalisée après décongélation de l’échantillon de sérum. Pour les sérums prélevés sur des veaux laitiers, la détermination de la valeur réfractométrique est effectuée aussi avant la congélation, permettant ainsi d’évaluer l’impact de la congélation sur la mesure au réfractomètre numérique.
- Dosage des IgG dans les sérums réalisé au Laboratoire Vétérinaire Départemental du Rhône (69) par la méthode d’immunodiffusion radiale en utilisant un kit de diagnostic : **Bov IgG IDRing Test©** (IDBiotech Immuno Diffusion Biotechnologies, Issoire - FRANCE). La gamme de ce kit est de 3.75 à 30 g/L d’IgG. Les sérums hors de cet intervalle ne sont pas pris en compte dans les calculs de moyenne et de coefficients de corrélation.

La mesure au réfractomètre numérique est comparée à l’immunodiffusion radiale en calculant le coefficient de corrélation linéaire, afin de déterminer la force de la relation entre ces valeurs. Ensuite, le réfractomètre numérique est évalué comme outil d’estimation de la concentration sérique en IgG chez le veau. Pour ce faire, on détermine les seuils en %brix correspondant aux concentrations de 10 et 16 g/L, permettant de maximiser les performances du test. La sensibilité est définie comme la probabilité de détecter les échecs du transfert d’immunité passive, c’est-à-dire les sérums ayant une concentration en IgG inférieure à la concentration de référence.

3. Résultats

a) Statistiques descriptives

Les résultats descriptifs des 134 sérums sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau XXXI : Description statistique des jeux de données pour l’IDR et la réfractométrie numérique réalisées sur des sérums de veaux allaitants et laitiers

	Veaux Prim Holstein	Veaux Charolais
Concentration moyenne IgG (g/L)	15.6	15.1
Valeur %brix moyenne	9.2	8.8
% sérums < 10 g/L	23	35
% sérums < 16 g/L	26	49

Les concentrations moyennes en IgG des sérums des veaux laitiers et allaitants sont de 15.6 et 15.1 g/L, respectivement. Les valeurs réfractométriques moyennes des sérums sont de 9.2 et 8.8 %brix pour les veaux Prim Holstein et Charolais, respectivement. Les distributions de ces différentes valeurs sont représentées dans les diagrammes en boîte ci-dessous. Le doute sur la normalité des distributions est dissipé par un test de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) qui infirme la normalité.

Parmi les veaux laitiers, 23% ont une concentration sérique en IgG inférieure au seuil de 10 g/L. 49% des veaux allaitants présentent une concentration en IgG inférieure à 16 g/L. On en conclue à un transfert d'immunité globalement meilleur pour les veaux Prim Holstein de notre échantillonnage, qui n'a pas été réalisé dans le but d'être représentatif de certaines populations. Les concentrations sériques en IgG ne sont pas significativement différentes entre les veaux laitiers et allaitants ($p = 0.548$ test de Mann-Whitney-Wilcoxon). Il en est de même pour les valeurs réfractométriques ($p = 0.076$).

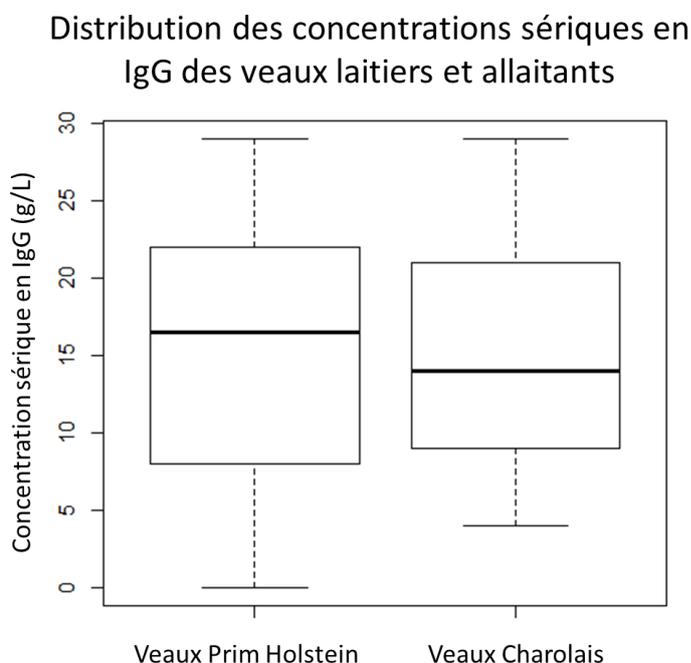


Figure 20 : Distribution de la concentration sérique en IgG (en g/L mesurée par IDR) pour des veaux laitiers et allaitants

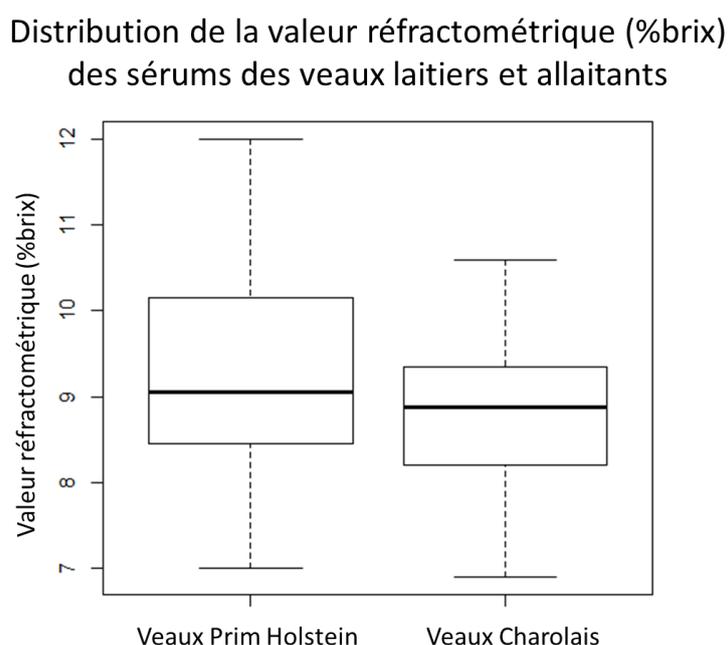


Figure 21 : Distribution de la valeur réfractométrique des sérums des veaux laitiers et allaitants (en %Brix)

Pour les 60 veaux Prim Holstein uniquement, la valeur réfractométrique des sérums a été déterminée avant et après congélation. Le coefficient de corrélation linéaire reliant les valeurs pré et post congélation est de $r=0.988$ avec un test de nullité hautement significatif ($p < 2.2 \times 10^{-16}$). Ceci montre l'absence d'influence de la congélation d'un sérum sur sa valeur réfractométrique.

b) Corrélation entre la réfractométrie numérique et l'immunodiffusion radiale

Graphiquement, on constate un allongement linéaire du nuage de points. Il est confirmé **par le coefficient de corrélation linéaire de Spearman qui est de $r = 0.72$** . La corrélation est statistiquement significative ($p < 2.2 \times 10^{-16}$).

Ce coefficient est assez élevé et permet, comme pour le colostrum, d'utiliser la réfractométrie numérique pour évaluer la concentration en IgG du sérum et ainsi la qualité du transfert d'immunité passive. Cette méthode peut être utilisée comme un test, en comparant la valeur réfractométrique de l'échantillon à une valeur seuil permettant de classer le transfert d'immunité comme étant adéquat ou non.

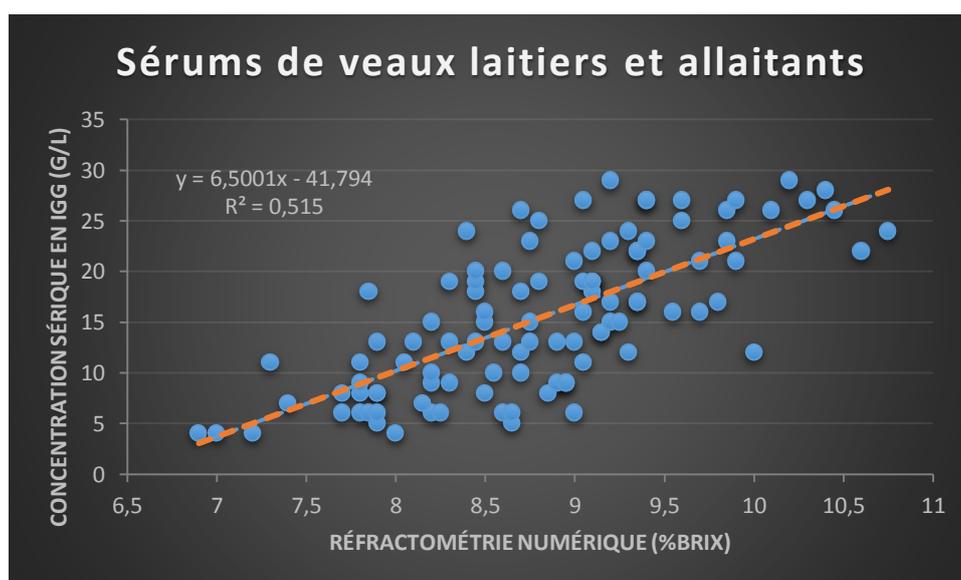


Figure 22 : Représentation sous forme de nuage de points des résultats dans laquelle chaque point représente un sérum associé à sa valeur réfractométrique et sa concentration en IgG

c) Utilisation du réfractomètre comme test diagnostique – Définition des seuils d'interprétation

La corrélation assez élevée entre la méthode étudiée ici et la méthode de référence permet d'évaluer les performances du réfractomètre numérique dans le suivi du transfert d'immunité passive. Les valeurs seuil en %brix correspondant aux concentrations de 10 et 16 g/L d'IgG sont déterminées en maximisant les performances du test associé à ces valeurs. De la même

façon que pour le colostrum, l'indice du Youden couplé à une analyse ROC permet de choisir la meilleure valeur seuil.

Dans cette partie, contrairement au colostrum, un échantillon positif correspond à un échantillon dont la valeur réfractométrique est inférieure au seuil. Ainsi, la sensibilité correspond à la probabilité de détecter les échantillons ayant une concentration sérique inférieure à 10 ou 16 g/L.

➤ Concentration sérique de 10 g/L d'IgG

Les valeurs caractéristiques associées à chaque valeur seuil en %brix sont consignées dans le tableau ci-dessous, ainsi que les indices de Youden. A partir des valeurs de sensibilité et de spécificité, la courbe ROC est tracée.

Tableau XXXII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration sérique de 10 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches allaitantes

Concentration sérique de 10 g/L IgG					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
7,5	0,23	0,99	0,89	0,79	0,22
8	0,57	0,96	0,83	0,86	0,53
8,2	0,63	0,94	0,79	0,88	0,57
8,3	0,71	0,92	0,76	0,9	0,63
8,4	0,74	0,9	0,72	0,91	0,64
8,5	0,74	0,84	0,62	0,9	0,58
8,6	0,77	0,81	0,59	0,91	0,58
8,7	0,86	0,79	0,59	0,94	0,65
8,8	0,86	0,71	0,51	0,93	0,57
8,9	0,89	0,69	0,5	0,95	0,58
9	0,97	0,68	0,52	0,99	0,65
9,5	1	0,35	0,35	1	0,35

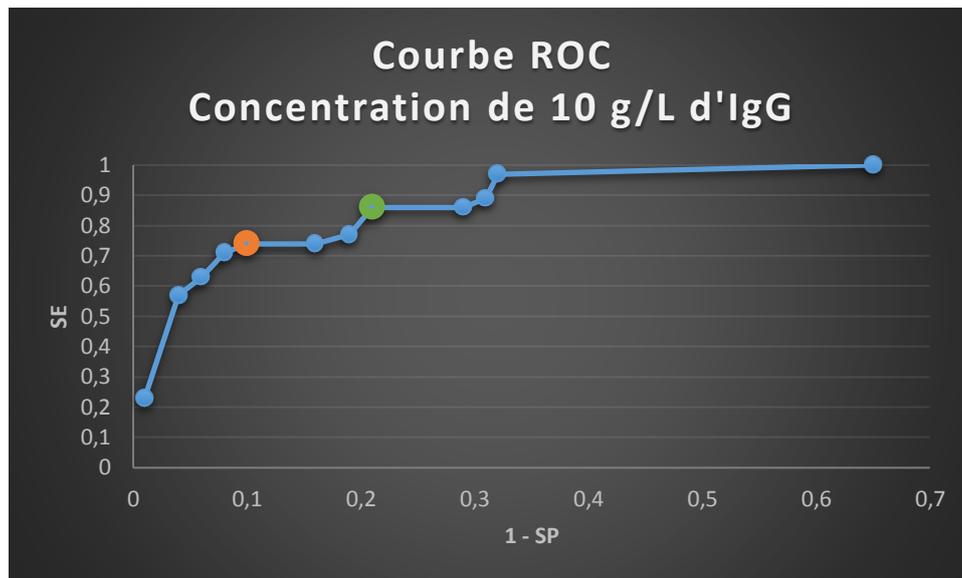


Figure 23 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 8.4 %brix et le point vert correspond à 8.7 %brix

La valeur seuil de 8.4 %brix est associée à un indice de Youden élevé (0.64) et correspond à celle qui se dégage de l'analyse ROC (point en orange). En effet, il est le point le plus proche du point de coordonnées (0, 1). A ce seuil, sont associées une sensibilité moyenne de 0.74 et une spécificité élevée de 0.90. Les valeurs prédictives sont intéressantes, avec une VVP de 0.72 et une VPN de 0.91. Ce seuil est donc le seuil le plus performant dans la distinction entre les sérums plus ou moins concentrés que 10 g/L d'IgG. Il est utilisable aussi bien pour des veaux Prim Holstein que pour des veaux Charolais, même si en pratique il sera plus intéressant en élevage laitier.

Cependant, lorsqu'on considère uniquement l'indice de Youden et les valeurs caractéristiques, le seuil de 8.7 %brix est intéressant aussi. D'une part, il est associé à un indice de Youden plus élevé (0.65). D'autre part, les valeurs de sensibilité et de spécificité sont plus équilibrées, 0.86 et 0.79 respectivement. De plus, en raisonnant en termes de coût, les faux négatifs sont plus préjudiciables que les faux positifs, notamment en médecine de troupeau. En effet, l'estimation de la qualité du transfert d'immunité est souvent réalisée lors d'un audit pour un problème sanitaire touchant les veaux. Cette estimation permet d'identifier le transfert colostrale comme facteur de risque et de déterminer s'il est un levier d'amélioration dans le statut sanitaire des veaux. Les faux négatifs, correspondant à des veaux dont le transfert d'immunité est surestimé, ils améliorent artificiellement l'évaluation du management du colostrum dans un élevage. On risque alors de se désintéresser du transfert d'immunité alors que son optimisation pourrait améliorer la santé des veaux. Ce risque est d'autant plus grand que l'on évalue le transfert d'immunité sur un nombre restreint de veaux.

Il est donc nécessaire de favoriser la sensibilité du test et donc de privilégier un seuil plus élevé, qui correspond à 8.7 %brix. De plus, la sensibilité troupeau d'un test augmente avec la taille de l'échantillon sur lequel on réalise l'estimation.

En conclusion, le seuil de 8.4% brix est utilisable à l'échelle individuelle. Lorsqu'on s'intéresse aux pratiques de management du colostrum dans un élevage, le seuil de 8.7% brix doit être privilégié. Ce seuil étant assorti de valeurs caractéristiques assez élevées, il peut être utilisé aussi à l'échelle individuelle.

➤ Concentration sérique de 16 g/L d'IgG

La même approche est utilisée pour la concentration de 16 g/L d'IgG. L'évaluation des différents seuils en %brix et la courbe ROC est synthétisée dans les figures ci-dessous.

Tableau XXXIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration sérique de 16 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden

Concentration sérique de 16 g/L IgG					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
7,5	0,15	1	1	0,59	0,15
8	0,38	0,99	0,96	0,66	0,37
8,5	0,59	0,92	0,86	0,73	0,51
8,6	0,64	0,91	0,85	0,75	0,55
8,7	0,7	0,89	0,84	0,79	0,59
8,8	0,77	0,84	0,8	0,82	0,61
8,9	0,79	0,81	0,77	0,82	0,6
9	0,85	0,81	0,79	0,87	0,66
9,1	0,9	0,74	0,74	0,9	0,64
9,2	0,93	0,66	0,7	0,92	0,59
9,4	0,98	0,53	0,63	0,98	0,51
9,5	0,98	0,46	0,6	0,97	0,44
10	0,98	0,27	0,53	0,95	0,25

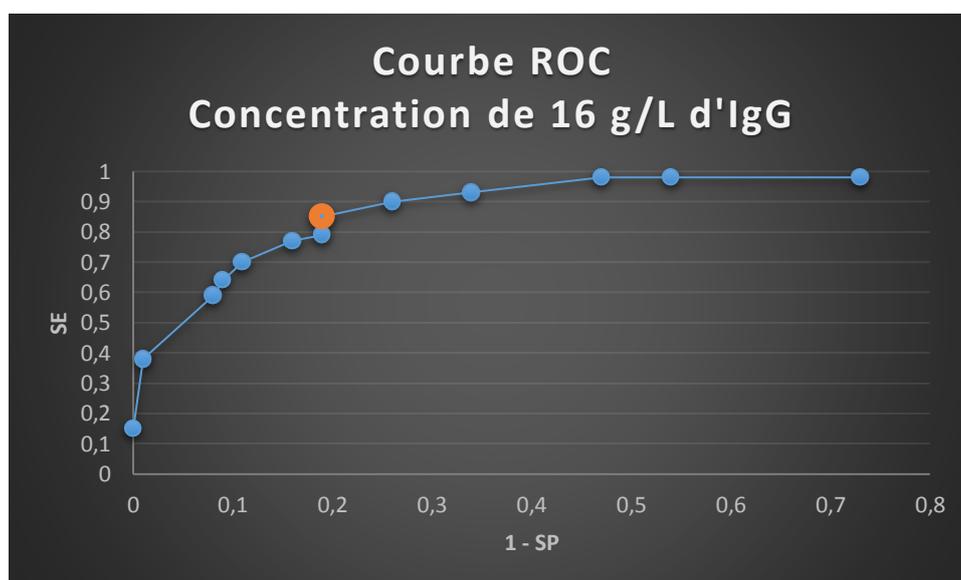


Figure 24 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 9 %brix

L'analyse de la courbe ROC et des indices de Youden (0.66), permettent de définir **le seuil de 9 %brix** comme étant celui qui correspond le mieux à la concentration de 16 g/L d'IgG dans le sérum des veaux Prim Holstein et Charolais.

Ce seuil confère une bonne performance au test, avec une sensibilité de 0.85 et une spécificité de 0.81. Les valeurs prédictives sont assez élevées : la VPP est de 0.79 et la VPN de 0.87. Dans cette analyse, ce seuil est le seul qui permet d'optimiser au maximum les performances du test. Il est utilisable aussi bien en élevage laitier qu'en élevage allaitant, à l'échelle individuelle et collective.

4. Discussion

a) Effet de la race

Dans cette évaluation, l'effectif de départ est plus faible (n=134) que celui sur lequel s'est basé l'évaluation du réfractomètre dans l'estimation de la qualité des colostrums. Les analyses statistiques n'ont donc pas pu être réalisées séparément sur les veaux laitiers et allaitants. Cependant, nous sommes parti du postulat que la matrice de base, le sérum, était bien plus similaire entre un veau allaitant et un veau laitier, qu'entre un colostrum produit par une vache allaitante et un colostrum produit par une laitière. Cette considération de base semblant raisonnable, ces seuils sont utilisables pour toutes les races, laitières ou allaitantes.

b) Corrélation entre la réfractométrie numérique et l'immunodiffusion radiale

Différentes publications comparent le réfractomètre numérique à l'IDR en calculant le coefficient de corrélation linéaire. La majorité des publications ne s'intéressent qu'à l'élevage laitier. Dans notre étude, le coefficient de corrélation linéaire ($r = 0.72$) est plus faible que ceux rapportés dans la littérature. En effet, seul Cornille (2014) rapporte un coefficient plus faible. Ce sont donc dans les études françaises, incluant des veaux allaitants, que la corrélation entre la réfractométrie numérique et la méthode de référence est la plus faible. Ceci amène à se demander si la corrélation ne serait pas plus faible pour des sérums de veaux allaitants. Malgré les effectifs assez faibles, nous avons calculé les coefficients de corrélation séparément pour les sérums allaitants ($n = 74$) et laitiers ($n = 60$), qui sont de $r = 0.71$ et $r = 0.75$ respectivement. La corrélation est effectivement plus faible pour les veaux allaitants mais la différence est très faible entre ces deux populations. Dans tous les cas, ces considérations de types raciaux ne permettent pas d'expliquer que le coefficient de corrélation soit plus faible dans notre étude que dans la littérature.

Tableau XXXIV : Coefficients de corrélation linéaire reliant le %brix à la concentration d'IgG dans le sérum des veaux (A : races allaitantes – L : races laitières)

Etude	Effectif et type racial	Coefficient de corrélation
Thèse STENGER 2016	134 – A et L	0.72
Morill 2013	200 – L	0.87
Cornille 2014	208 – A et L	0.66
Deelen 2014	400 – L	0.93
Elsohaby 2015	203 – L	0.79
Thornhill 2015	48 – L	0.86

c) Utilisation du réfractomètre comme test diagnostique – Définition des seuils d'interprétation

Le réfractomètre numérique est évalué dans quelques publications récentes pour le monitoring du transfert d'immunité passive. Toutes les publications, hormis celle de Cornille (2014), ne s'intéressent qu'à la concentration sérique de 10 g/L d'IgG pour les veaux laitiers.

Tableau XXXV : Valeurs caractéristiques des tests avec leur seuil en %brix pour la concentration de 10 g/L d'IgG. Un test est positif met en évidence un échec du transfert d'immunité (en gras - seuil recommandé par l'auteur) (A : races allaitantes – L : races laitières)

Etude	Type racial	Seuil (%brix)	Sensibilité	Spécificité
Thèse STENGER 2016	A + L	8.4	0.74	0.90
		8.7	0.86	0.79
Wenz 2011	L	8.3	0.74	0.86
		8.5	0.93	0.70
Morill 2013	L	7.8	0.94	0.90
Cornille 2014	A + L	8.4	0.87	0.82
Deelen 2014	L	8.4	0.89	0.89
Elsohaby 2015	L	8.3	0.86	0.83

Mis à part Morill (2013), les différents auteurs proposent des seuils similaires à ceux que nous avons retenus pour la concentration sérique de 10 g/L d'IgG dans la première semaine *post partum*. En particulier, le seuil de 8.4 %brix est proposé par Cornille et Deelen (2014). Globalement, les seuils proposés par les auteurs sont associés à une sensibilité plus élevée que celle associée au seuil de 8.4 %brix dans notre étude, les spécificités étant similaires à légèrement inférieures. En choisissant le seuil de 8.7 %brix, la sensibilité est comparable à celles rapportées dans la littérature avec une spécificité qui reste élevée. L'homogénéité entre les différentes études permet de valider l'utilisation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du transfert d'immunité passive.

Dans notre étude, le seuil de 8.7 %brix est mis en avant, notamment à l'échelle collective, par rapport au seuil de 8.4 %brix. Cette distinction est cependant à nuancer. En effet, les caractéristiques techniques du réfractomètre numérique utilisé dans notre étude indiquent une précision de 0.2 %brix. Il est donc difficile d'éliminer le seuil de 8.4 %brix au profit d'un

seuil aussi proche que 8.7 %brix sur des critères statistiques en se basant sur un effectif de taille intermédiaire. Cette légère variation qui peut affecter la valeur réfractométrique d'un sérum est une raison supplémentaire pour se baser sur un nombre assez important de sérum et un seuil relativement élevé pour juger les pratiques attenantes au transfert colostral dans un élevage.

Concernant l'élevage allaitant, seul Cornille (2014) s'est intéressé à une concentration en IgG plus élevée que 10 g/L, à savoir 15 g/L d'IgG. L'auteur rapporte un seuil de 8.5 %brix comme correspondant le mieux à 15 g/L d'IgG. Ce seuil est associé à une sensibilité de 0.74 et une spécificité de 0.84. Le test ainsi décrit est un peu moins performant que celui proposé dans notre étude pour une concentration de 16 g/L d'IgG. Nous proposons un seuil de 9 %brix avec une sensibilité de 0.85 et une spécificité de 0.81.

5. Conclusion

Au terme de cette partie, le réfractomètre numérique est un outil performant dans l'évaluation de la concentration sérique en IgG chez le veau dans la première semaine *post partum*. Cet outil est utilisable à l'échelle individuelle et collective, en permettant de savoir si un veau a une concentration sérique en IgG supérieure ou inférieure à 10 ou 16 g/L, en utilisant respectivement les seuils de 8.7 et 9 %brix. Les valeurs caractéristiques des tests sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Tableau XXXVI : Seuils et performances des tests d'évaluation de la qualité du colostrum pour les concentrations de 50, 80 et 100 g/L d'IgG pour les vaches laitière et allaitantes

Concentration de référence (g/L)	Seuil réfractométrique (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN
10	8.7	0,86	0,79	0,59	0,94
16	9	0,85	0,81	0,79	0,87

Le réfractomètre numérique s'utilise de la même façon avec un sérum qu'avec un colostrum. Il présente les mêmes avantages quand il est utilisé pour l'évaluation du transfert d'immunité que pour l'estimation de la qualité du colostrum. Le même outil peut être utilisé dans les deux objectifs et permet donc un monitoring complet du transfert colostral.

La difficulté supplémentaire dans cette utilisation réside dans la matrice utilisée pour faire l'analyse. En effet, un sérum est plus difficile d'accès que du colostrum. Il nécessite la réalisation d'un prélèvement sanguin et d'une séparation entre le caillot sanguin et le sérum. Ceci explique que dans cette indication, le réfractomètre numérique est essentiellement utilisé par le vétérinaire, à l'échelle de l'élevage, dans le cadre d'un audit sur la santé des veaux.

II. Influence du type de ration en fin de tarissement sur la qualité du colostrum

1. Introduction

Parmi les facteurs de variation de la qualité du colostrum, l'alimentation en fin de gestation est souvent évoquée par les éleveurs, mais aussi par les vétérinaires, comme étant un facteur majeur dont dépend la qualité du colostrum. Cependant, la plupart de ces discours se basent sur des considérations empiriques issues de l'expérience de chacun.

Dans la littérature scientifique, il existe relativement peu d'articles à ce sujet par rapport à l'importance que l'on prête à l'alimentation. Des recommandations existent en matière de minéralisation. En effet, les apports de certains oligoéléments dans la ration, notamment le sélénium, permettent d'améliorer sensiblement la concentration en IgG dans le colostrum (Swecker 1995, Awadeh 1997). Aucune ration type afin d'améliorer la qualité du colostrum n'est proposée. En effet, il serait intéressant de savoir s'il existe une influence de ration de base, en particulier du fourrage, sur la qualité du colostrum.

Dans cette partie, nous nous proposons d'étudier l'influence du type de ration de base en fin de gestation sur la concentration en IgG dans le colostrum en utilisant un réfractomètre numérique.

2. Matériel et méthode

Nous avons réalisé une étude de l'influence de l'alimentation sur la qualité du colostrum chez la vache laitière de race Prim Holstein.

Les échantillons de colostrum ont été collectés entre septembre 2013 et décembre 2014. Les 18 élevages laitiers collectés sont répartis dans différentes régions françaises comme suit :

- 9 élevages en dans le Bas-Rhin (67) et en Moselle (57) sur la clientèle de la clinique vétérinaire de SARRE-UNION (67)
- 6 élevages au sein d'une association de valorisation du colostrum bovin rattachée à la Communauté de Commune de Saint-Laurent-de-Chamousset (69)
- 3 élevages de la clientèle de l'Unité Clinique Rurale de l'Arbresle (UCRA) rattachée à VetAgro Sup - Campus vétérinaire de Lyon (69)

La méthode de prélèvement du colostrum est décrite dans une fiche de consignes fournie à chaque éleveur (Annexe 1). Les échantillons sont identifiés et congelés le plus rapidement possible après leur collecte. Ils sont acheminés sous couvert de froid négatif au service d'alimentation animale de VetAgro-Sup.

Nous avons ainsi obtenu 288 échantillons de colostrum de vaches Prim Holstein.

Des informations sur la conduite d'élevage, en particulier pendant le tarissement, sont recueillies dans chaque élevage lors du dépôt du matériel de prélèvement et des consignes.

Une fiche de renseignement (Annexe 2) correspondant à un questionnaire sur la conduite du tarissement est remplie. Une attention toute particulière est portée à l'alimentation des vaches taries en fonction des saisons, notamment l'alimentation pendant les trois dernières semaines avant le vêlage. Cette période correspond à la préparation au vêlage. Nous nous intéressons tout particulièrement à la ration de base pendant cette période afin d'étudier son influence sur la qualité du colostrum.

En plus de ce questionnaire initial, l'éleveur remplit une fiche de prélèvement (Annexe 3) pour chaque échantillon. Il renseigne la date de vêlage, les particularités de la ration pendant les trois dernières semaines de gestation et les éventuelles pathologies péri-partum affectant la vache. De plus, pour chaque échantillon, l'éleveur indique si le veau a pu téter le colostrum de sa mère avant le prélèvement de l'échantillon.

A la lumière de ces informations, un colostrum n'est inclus dans l'étude uniquement lorsqu'il est issu d'une vache saine et que le veau n'a pas pu téter sa mère avant la réalisation du prélèvement. En effet, si le veau a bu préalablement à la traite, la qualité du colostrum collecté diminue et ne reflète pas les capacités de concentration de la vache.

Après avoir éliminé ces échantillons, 178 colostrums différents sont inclus dans l'étude pour la réalisation des analyses statistiques. L'évaluation de la qualité du colostrum est réalisée à l'aide d'un réfractomètre numérique.

Chaque échantillon est décongelé lentement à température ambiante avant d'être analysé de la façon suivante : mesure de la valeur réfractométrique (%brix) avec **un réfractomètre numérique HI 96801 Hanna Instruments** disposant d'une compensation automatique de température 10 – 40°C, d'une résolution de 0.1 %brix et d'une gamme de 0 à 85 %brix. La précision indiquée par le fabricant est de 0.2 %brix. Les échantillons subissent 2 mesures afin d'éviter les erreurs liées au manipulateur, en particulier les défauts de nettoyage du prisme. Les mesures sont effectuées en plaçant 0.5 ml de colostrum sur le prisme et en lançant la lecture par le réfractomètre.

L'analyse des fiches de renseignements permet de grouper les échantillons en fonction de **la ration de base pendant les trois semaines précédant le vêlage**. Nous avons ainsi séparé les colostrums en deux groupes :

- **Un groupe Maïs (M)** qui correspond aux vaches taries se voyant distribuer de l'ensilage de maïs. En fonction des élevages, les taries ont une ration à base d'ensilage de maïs pendant tout le tarissement ou seulement en fin de gestation pour réaliser une transition alimentaire avec la ration de lactation. En fonction des élevages, une vache tarie se voit distribuer entre un quart et la moitié de la ration d'une vache en lactation. Lorsque la distribution de l'ensilage de maïs dure moins de 7 jours, l'échantillon est classé dans le groupe Herbe.

- **Un groupe Herbe (H)** correspondant aux vaches taries dont le fourrage de la ration correspond à de l'herbe sous forme « humide » sans aucune sorte d'ensilage de maïs, ni de maïs sous forme de grain. Ce groupe comprend les vaches au pâturage, plus ou moins complémentées avec du foin, pendant tout le tarissement. Il comprend aussi les rations à base d'ensilage d'herbe ou d'enrubanné d'herbe.

On considère dans cette étude uniquement la ration de base. Le type de concentré n'est pas pris en compte, sauf lorsqu'il correspond à du maïs grain, ce qui n'est le cas pour aucun des élevages inclus dans cette étude.

L'analyse statistique a pour objectif de comparer la qualité du colostrum entre ces deux groupes (M et H) ainsi que la prévalence des colostrums de bonne qualité, c'est-à-dire dont la valeur réfractométrique est supérieure à 22,8 %brix. Nous étudierons également l'influence de la parité et de la saison du vêlage sur la qualité du colostrum et nous vérifierons que ce ne sont pas des facteurs de confusion avec la ration.

3. Résultats

a) Influence de la ration sur la qualité du colostrum

Les figures ci-dessous présentent les jeux de données obtenus à partir de l'estimation de la qualité des échantillons de colostrum dans les deux groupes.

Tableau XXXVII : Description statistique des jeux de données pour les deux groupes correspondant à la ration à base d'ensilage de maïs et à la ration à base d'herbe

	Ensilage de Maïs (M)	Herbe (H)
Effectifs	n = 118	n = 60
Valeur réfractométrique moyenne des colostrums (%brix)	23.9	25.3
% colostrums > 22.8 %brix	58 %	73 %
% de primipares	40 %	32 %

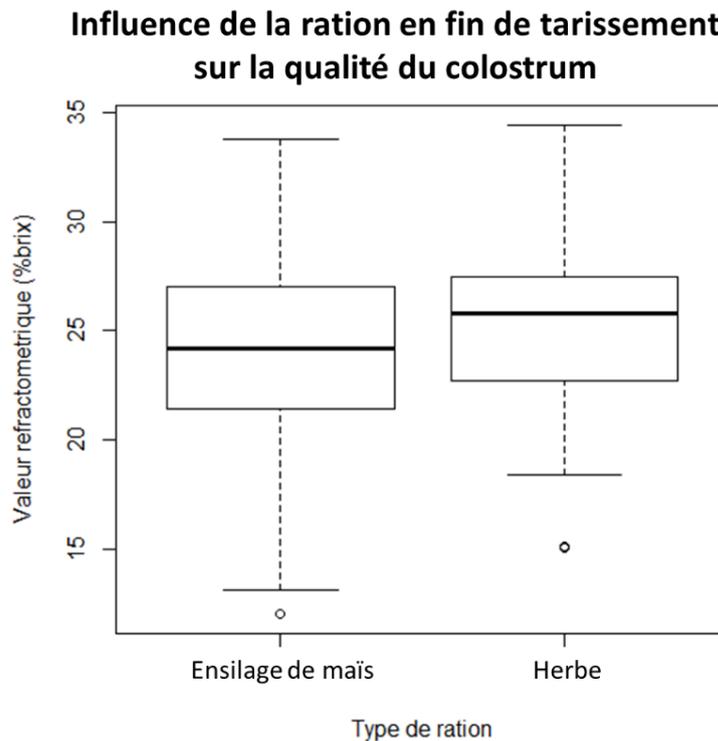


Figure 25 : Distribution des valeurs réfractométriques (%brix) des colostrums en fonction du fourrage distribué pendant les trois dernières semaines de tarissement

L'effectif du groupe M est plus important que celui du groupe H. Il comprend presque deux fois plus d'échantillons. En effet, la distribution d'ensilage de maïs aux vaches taries est une pratique très courante en élevage laitier, notamment en race Prim Holstein et en fin de tarissement. La distribution des valeurs réfractométriques est similaire dans les deux groupes.

On peut considérer la distribution des valeurs réfractométriques dans les deux groupes comme étant normale ($p = 0.37$ et $p = 0.64$ pour le test de Shapiro-Wilk, respectivement pour les groupes H et M) et les variances égales ($p = 0.30$). La comparaison des moyennes dans les deux groupes avec un test T résulte en une différence significative : $p = 0.041$. **On peut donc conclure à une qualité du colostrum significativement supérieure pour les vaches du groupe H par rapport à celles du groupe M.** Globalement, la qualité du colostrum est meilleure lorsque les vaches se voient distribuer de l'herbe en « vert » ou conservée sous forme humide pendant les trois dernières semaines de tarissement. La différence entre les moyennes des valeurs réfractométriques des deux groupes est de 1,4 %brix. Ceci correspond à 7,5 g/L d'IgG lorsqu'on se réfère à l'équation de la régression linéaire pour les vaches Prim Holstein. Cette augmentation de concentration en IgG pour les vaches du groupe H est relativement importante lorsqu'on se rapporte à une concentration de 50 g/L d'IgG qui est la concentration minimale pour qu'un colostrum laitier soit de bonne qualité.

Dans un deuxième temps, comparons la prévalence des colostrums de bonne qualité (> 22,8 %brix) entre les deux groupes à l'aide d'un test du χ^2 . On met en évidence **une prévalence de colostrums de bonne qualité significativement plus élevée dans le groupe H (73%) que dans le groupe M (58%)** : $p\text{-value} = 0.018$. Ceci appuie le fait que la qualité du colostrum est

supérieure lorsque la ration pendant les trois dernières de tarissement est à base d'herbe uniquement.

b) Impact de la parité sur la qualité du colostrum

L'un des principaux facteurs non maîtrisables affectant la qualité du colostrum est la parité. En effet, des vaches en 1^{ère} ou en 2^{ème} lactation produisent généralement des colostrums de moins bonne qualité que des vaches ayant un rang de lactation plus élevé (Muller 1981, Pritchett 1991, Tyler 1999, Moore 2005, Godden 2008, Gulliksen 2008, Kehoe 2011, Le Cozler 2012, Conneely 2013, Maillard 2013, Bartier 2015).

La présence d'un plus grand nombre de primipares dans le groupe M (40%) par rapport au groupe H (32%) pourrait expliquer une qualité du colostrum moindre dans ce groupe.

Lorsque l'on prend les résultats dans leur globalité, il n'y a pas de différence significative de qualité du colostrum en fonction du rang de lactation (p-value = 0.36 – Test de Kruskal-Wallis). D'autre part, le test du X² d'indépendance ne met pas en évidence d'influence significative de la parité sur la prévalence des colostrums de bonne qualité (p-value = 0.12). Lorsque l'on prend les deux groupes séparément, les résultats sont identiques avec des p-value de 0.45 et de 0.20 pour les groupes M et H, respectivement. Cependant, sur la figure 27, semble se dessiner une tendance vers une diminution de la prévalence des colostrums insuffisamment riches en IgG après la 3^{ème} lactation.

Pris séparément, la ration de base a une influence significative sur la qualité du colostrum alors que la parité n'en a pas. Lorsque l'on combine ces deux paramètres dans une ANOVA à deux facteurs pour évaluer leur influence sur la qualité du colostrum, on retrouve l'influence significative de la ration sur la qualité du colostrum : p = 0,029. La parité n'a pas d'influence significative sur cette dernière : p = 0,96.

Influence de la parité sur la qualité du colostrum

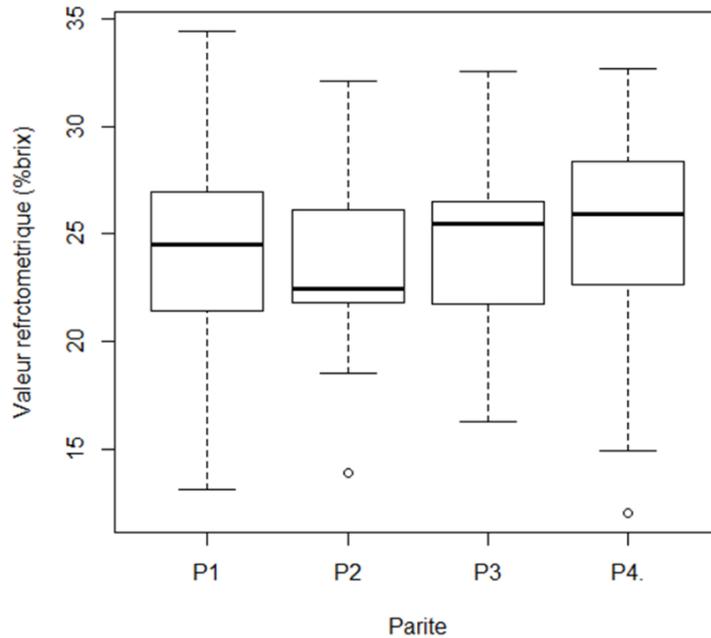


Figure 26 : Distribution des valeurs réfractométriques des colostrums en fonction du numéro de lactation (P1, P2 et P3 = 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} lactation – P4 = 4^{ème} lactation et plus)

Influence de la parité sur la qualité du colostrum

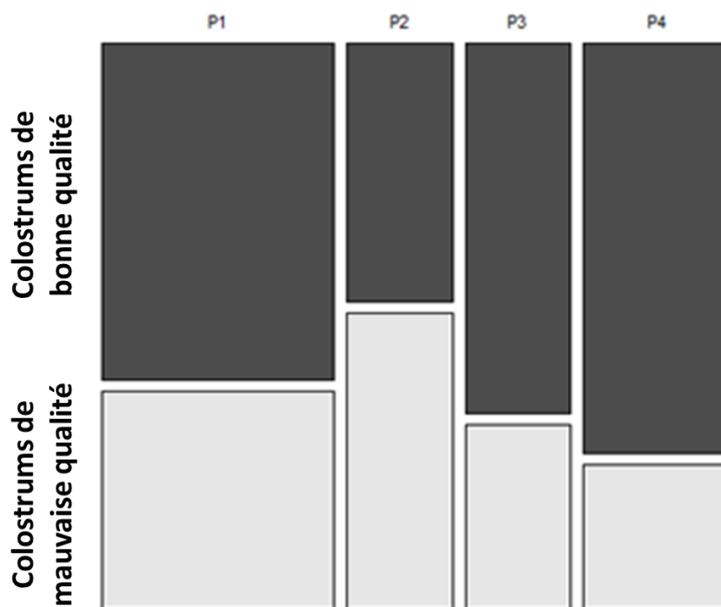


Figure 27 : Répartition des colostrums de bonne et de mauvaise qualité (< 22,8 %brix) en fonction du numéro de lactation (P1, P2 et P3 = 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} lactation – P4 = 4^{ème} lactation et plus)

c) Impact de la saison de vêlage sur la qualité du colostrum

La saison de vêlage est identifiée par certains auteurs comme étant un facteur influençant la qualité du colostrum (Gulliksen 2008, Conneely 2013). De la même façon que le rang de lactation, la période de vêlage pourrait constituer un facteur de confusion. En effet, la saison de pâture correspond au mois d'avril à octobre et donc aux périodes où la ration des vaches taries est plus susceptible d'être à base d'herbe. Il convient donc de vérifier si la saison de vêlage représente un facteur de variation de la qualité du colostrum dans notre étude. La figure ci-dessous représente l'influence de la période de mise-bas sur la qualité du colostrum.

Globalement, on ne met pas en évidence d'influence significative de la période de mise-bas sur la qualité du colostrum (p -value = 0.18 – Kruskal-Wallis). Considérons maintenant la prévalence de colostrums de bonne qualité. Lorsque l'on prend les valeurs dans leur globalité, ou que l'on sépare les groupes M et H, on ne montre pas d'influence significative de la saison de vêlage sur la prévalence des colostrums de bonne qualité : p -values de 0.73, 0.53 et 0.68 respectivement.

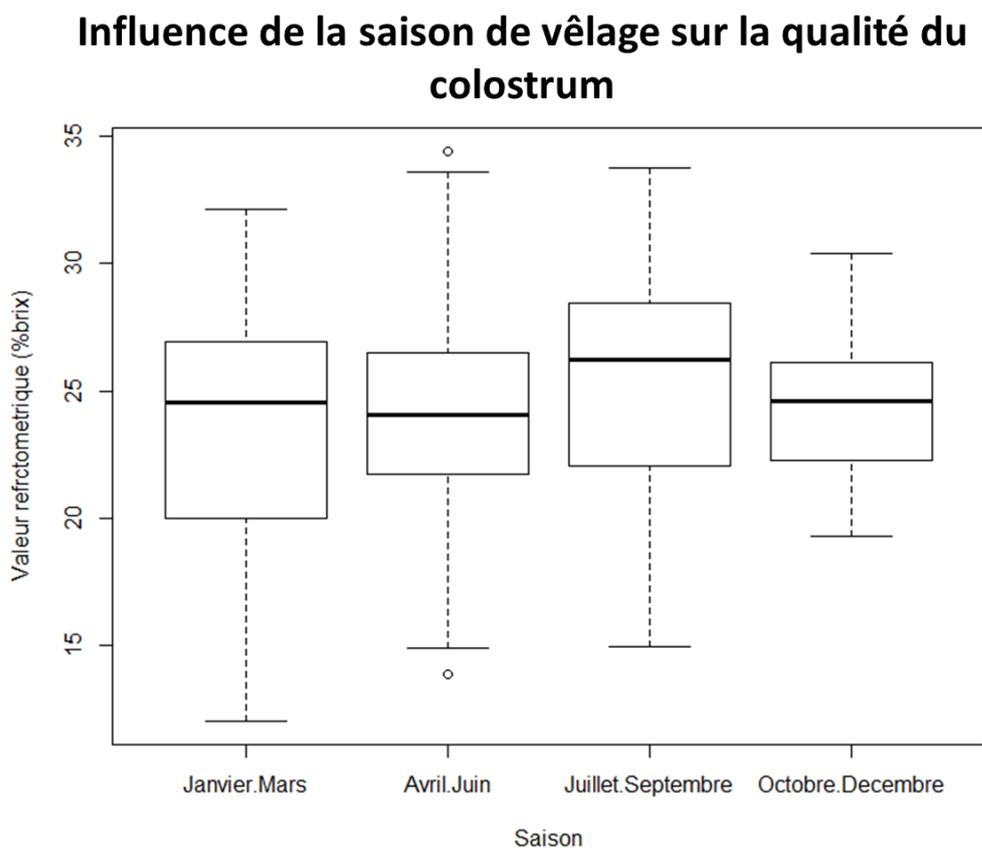


Figure 28 : Distribution des valeurs réfractométriques des échantillons (%brix) en fonction de la période où a lieu la mise-bas

4. Discussion

Dans notre étude, les vaches dont la ration se compose principalement d'herbe en fin de gestation produisent un colostrum de meilleure qualité que les vaches se voyant distribuer de l'ensilage de maïs. A cette qualité du colostrum globalement supérieure, s'ajoute une prévalence plus faible des colostrums considérés comme étant de mauvaise qualité en élevage laitier. La plupart des études menées étudient l'influence d'une restriction alimentaire, énergétique et/ou protéique, sur la qualité du colostrum. La revue de littérature nous a amenés à conclure à une absence d'influence d'une restriction alimentaire sur la qualité du colostrum (Halliday 1978, DeLong 1979, Blecha 1981, Olson 1981, Burton 1984, Hough 1990, McGee 2006, Nowak 2012). Seule l'étude de McGee (2006) compare deux types de ration, de la paille et de l'ensilage d'herbe, pendant les deux dernières semaines de gestation. Elle rapporte une masse totale d'IgG1, d'IgM et d'Ig totales dans le colostrum supérieure pour les animaux nourris avec de l'ensilage d'herbe par rapport à ceux nourris avec uniquement de la paille (McGee 2006). Cependant, même si la masse d'Ig est supérieure, aucune différence significative au niveau de la concentration en Ig n'est mise en évidence. Ceci va dans le sens d'une quantité de colostrum produite plus importante sans augmentation de sa qualité.

Les fiches de renseignements (Annexe 2) et de prélèvement (Annexe 3) permettent d'avoir des informations globales sur la conduite des vaches tarées au sein de chaque élevage, ainsi que des informations individuelles pour chaque prélèvement. Une sélection stricte des échantillons inclus dans l'étude est réalisée : élimination des colostrums issus de vaches dont le veau a pu téter préalablement au prélèvement, des vaches présentant une pathologie péri-partum et celles dont la ration n'était pas totalement connue. Cette sélection stricte a réduit le pool de départ de 288 échantillons à seulement 178 colostrums. L'analyse des rations ne permet de constituer que deux groupes afin d'avoir des effectifs suffisants dans chaque groupe. La ration à base d'ensilage de maïs est bien représentée. Toutes les rations à base d'herbe sont réunies dans le même groupe, à savoir l'herbe fraîche au pâturage et l'herbe conservée sous forme humide (ensilage et enrubannage). Malgré cela, les effectifs entre les deux groupes restent déséquilibrés. En effet, les échantillons du groupe H sont presque deux fois moins nombreux. Cependant, les effectifs des groupes M (n = 118) et H (n = 60) restent plus élevés que dans toutes les publications étudiées qui traitent de l'influence de l'alimentation sur la qualité du colostrum.

D'autre part, le mode de sélection des échantillons entraîne des disparités entre les élevages. En effet, certains sont surreprésentés par rapport à d'autres. En fonction de la surveillance des vêlages, du temps que les éleveurs ont l'habitude de laisser le veau avec sa mère et du mode de prélèvement des échantillons (à la main ou en salle de traite), peu d'échantillons ont pu être inclus pour certains élevages. D'autre part, en fonction des pratiques alimentaires, chaque élevage est plus ou moins représenté dans chaque groupe. Cependant, le faible nombre de colostrums issus de chaque élevage, dans chaque groupe, ne permet pas d'étudier statistiquement le « facteur élevage » sur les résultats que nous avons obtenus. Ce facteur constitue le principal biais dans notre analyse statistique.

La concentration en IgG de chaque échantillon de colostrum n'a pas été dosée précisément. Une estimation de la qualité du colostrum est réalisée avec un réfractomètre numérique, principalement pour des raisons de coût (environ 7€ pour chaque échantillon en IDR). L'utilisation de cet outil a été validée dans le paragraphe I - A de cette partie. La valeur réfractométrique est moins précise qu'un dosage d'IgG mais constitue néanmoins un très bon indicateur de la qualité globale des colostrums de notre échantillonnage. .

D'autres facteurs n'ont pas été pris en compte dans notre analyse. Tout d'abord, les oligoéléments, en particulier le sélénium, n'est pas pris en compte, ni comme facteur de variation, ni comme facteur de confusion. La connaissance des rations individuelles n'est pas assez précise pour prendre en compte la quantité de sélénium ingérée par chaque animal. Toutes les vaches, en période estivale et hivernale, ont accès à un complément vitaminique et minéral contenant des oligoéléments. Ensuite, le délai entre la mise-bas et la collecte de l'échantillon n'est pas enregistrée par soucis de simplicité. En effet, en élevage laitier les vêlages sont moins suivis qu'en élevage allaitant, particulièrement la nuit. L'estimation de cette durée par les éleveurs leur semblait difficile et aurait été trop imprécise.

Enfin, les vaches du groupe H ont une ration dont le fourrage est de l'herbe pendant la totalité du tarissement. Ce n'est pas le cas des vaches du groupe M qui ne consomment pas forcément de l'ensilage de maïs pendant tout le tarissement. Certaines vaches du groupe M ont une ration unique à base d'ensilage de maïs pendant tout le tarissement alors que d'autres ont une ration à base d'herbe en début de tarissement et se voient distribuer de l'ensilage de maïs qu'en fin de gestation dans le cadre d'une transition alimentaire vers la ration de lactation. Toute vache ayant consommé de l'ensilage de maïs pendant plus de 7 jours avant la mise-bas est classée dans le groupe M. Ainsi, certaines vaches du groupe M n'ont de l'ensilage de maïs dans leur ration que sur une période courte, de moins de 3 semaines. Il semblerait qu'une période courte de consommation d'ensilage de maïs en fin de gestation suffirait à entraîner une différence de qualité du colostrum par rapport aux vaches n'ingérant que de l'herbe.

5. Conclusion

Les vaches qui ont une ration dont le fourrage correspond à de l'herbe, fraîche ou conservée sous forme humide, pendant le tarissement produisent un colostrum dont la concentration en IgG est supérieure de 7,5 g/L en moyenne, par rapport aux vaches qui consomment de l'ensilage de maïs pendant plus de 7 jours en fin de gestation. D'autre part, ces vaches ont un risque plus faible de produire un colostrum dont la concentration en IgG est inférieure à 50 g/L.

Le rang de lactation et la saison de vêlage, qui peuvent par ailleurs être des facteurs de variation de la qualité du colostrum, n'impactent pas ces résultats car ils ne constituent pas des facteurs de variation dans notre étude.

CONCLUSION

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. Il a également des conséquences sur la croissance (GMQ) et la production laitière future.

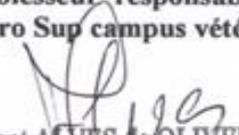
La qualité du colostrum est au centre du transfert d'immunité passive. Elle varie dans des proportions très importantes en fonction des individus. Une méthode fiable d'évaluation de la qualité du colostrum, utilisable en exploitation agricole, est donc nécessaire pour sécuriser la prise colostrale.

Dans cette étude, nous avons montré que le réfractomètre numérique calibré en degré brix (%brix) présente de bonnes performances dans l'estimation de la qualité du colostrum lorsqu'il est utilisé comme un test diagnostic, aussi bien en élevage allaitant, qu'en élevage laitier. Les seuils en degré brix, à partir desquels un colostrum peut être considéré comme étant plus riche en IgG que les concentrations de référence, ont été déterminés. Ainsi, les concentrations de 50 - 80 et 100 g/L d'IgG correspondent respectivement aux seuils suivants : 22,8 - 25,5 et 27 %brix. Les performances de cet outil sont similaires dans l'évaluation de la concentration sérique en IgG chez les veaux nouveau-nés en utilisant les seuils de 8,4 et 9,0 %brix qui correspondent respectivement à 10 et 16 g/L d'IgG.

L'influence de la ration de base des vaches en fin de gestation sur la qualité immunologique du colostrum est mal connue. Nous avons pu établir que la qualité du colostrum des vaches laitières est meilleure, en moyenne de 7,5 g d'IgG /L de colostrum, lorsque leur ration en fin de gestation se compose uniquement d'herbe sous forme humide, fraîche ou conservée, par rapport à une ration à base d'ensilage de maïs.

Thèse de M. Alexis STENGER

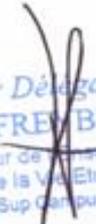
Le Professeur responsable
VetAgro Sup campus vétérinaire


Laurent ALVES de OLIVEIRA
Maître de Conférences

Le Président de la thèse

 Jérôme CLARIS

Le Directeur général
VetAgro Sup


Par Délégation
Dr. L. FREYBURGER
Directeur de l'enseignement
et de la Vie Etudiante
VetAgro Sup Campus Vétérinaire

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 21 JUIL. 2016


Pour Le Président de l'Université,
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales
Professeur Jérôme ETIENNE

Bibliographie

Allix J.P (2013). Leviers d'amélioration du transfert de l'immunité en élevage laitier et allaitant, Bull. GTV, 71 : 33-37

Allix J.P (2014). Pratiques, perceptions et attentes des éleveurs sur le transfert d'immunité, Bull. GTV, 73 : 101-105

Awadeh F.T, R.L Kincaid and K.A Johnson (1998). Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves, J. Anim. Sci., 76 (4) : 1204–1215

Bakerma H.W, H.A Deluyker, Y.H Schukken and T.J Lam (1999). Quarter-milk somatic cell count at calving and at the first six milkings after calving, Prev. Vet. Med. 38 (1) : 1-9

Barrington G.M, T.B. McFadden, M.T. Huyler and T.E. Besser (2001). Regulation of colostrogenesis in cattle, Livest. Sci., 70 : 95–104

Bartier A.L, M. C. Windeyer and L. Doepel (2015). Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement, J. Dairy Sci., 98 (3) : 1878–1884

Baumrucker C.R, D.L Hadsell and J.W Blum (1994). Effects of dietary insulin-like growth factor I on growth and insulin-like growth factor receptors in neonatal calf intestine, J. Anim. Sci. 72 (2) : 428-433

Baumrucker C.R, A.M Burkett, A.L Magliaro-Macrina and C.D Dechow (2010). Colostrogenesis : mass transfer of IgG1 into colostrum, J. Dairy Sci. 93 (7) : 3031-3038

Baumrucker C.R, A. Stark, O. Wellnitz, C. Dechow and R.M Bruckmaier (2014). Short communication: Immunoglobulin variation in quarter-milked colostrum, J. Dairy Sci. 97 (6) : 3700–3706

Beam A.L and al. (2009). Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations, J. Dairy Sci., 92 (8) : 3973–3980

Becker C. and L. Commun (2013). La prise colostrale : une étape indispensable au bon départ du veau, Le Point Vétérinaire : prévention nutritionnelle en élevage bovin, Edition spéciale : 88 - 97

Belknap E., J. Baker, J. Patterson, R. Walker and D. Haines (1991). The role of passive immunity in bovine respiratory syncytial virus infected calves, J. Infect. Dis., 163 (3) : 470-476

Besser T.E, A.E Garmedia, T.C McGuire and C.C Gay (1985). Effect of colostrum immunoglobulin G1 and immunoglobulin M concentrations on immunoglobulin absorption in calves, J. Dairy Sci., 68 (8) : 2033-2037

Besser T.E, C.C Gay and L. Pritchett (1997). Comparison of three methods of feeding colostrum to dairy calves, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 198 (3) : 419-422

Bielmann V., J. Garner, C. Throop, N. Perkins, and K. Leslie (2008). An evaluation of a Brix refractometer for measurement of colostrum quality and success of passive transfer. *J. Dairy Sci.*, 91:354.

Bielmann V., J. Gillan, N. R. Perkins, A. L. Skidmore, S. Godden, and K. E. Leslie (2010). An evaluation of Brix refractometry instruments for measurement of colostrum quality in dairy cattle, *J. Dairy Sci.*, 93 (8) : 3713–3721

Blättler U. and al. (2001). Feeding colostrum, its composition and feeding duration variably modify proliferation and morphology of the intestine and digestive enzyme activities of neonatal calves, *J. Nutr.* 131 (4) : 1256–1263

Blecha F., R.C Bull, D.P Olson, R.H Ross and S. Curtis (1981). Effects of *prepartum* protein restriction in the beef cow on immunoglobulin content in blood and colostrum whey and subsequent immunoglobulin absorption by the neonatal calf, *J. Anim. Sci.*, 53 (5) : 1174-1180

Blum J.W and H. Hammon (2000). Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves, *Livest. Sci.*, 66 (2) : 151–159

Bruyère P., Hygiène et prévention des affections néonatales, In : GTV Rhône-Alpes, 25^{ème} Journée des GTV Rhône Alpes, 1^{er} Octobre 2015, Marcy l’Etoile, SNGTV, 32p

Bühler C., H. Hammon, G.L Rossi and J.W Blum (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, *J. Anim. Sci.*, 76 (3) : 758–765

Burton J.H, A.A Hosein, L. McMillan, D.G Grive and B.N. Wilkie (1984). Immunoglobulin absorption in calves as influenced by dietary protein intakes of their dams, *Can. J. Anim. Sci.*, 64 : 185-186

Chase C.L, D.J Hurley and A.J Reber (2008). Neonatal immune development in the calf and its impact on vaccine response, *Vet. Clin. North Am. Food. Anim. Pract.*, 24 (1) : 87–104

Chigerwe M. and J.W Tyler (2010). Serum IgG concentrations after intravenous serum transfusion in a randomized clinical trial in dairy calves with inadequate transfer of colostrum immunoglobulins, *J. Vet. Intern. Med.*, 24 (1) : 231–234

Chigerwe M. and J.V. Hagey (2014). Refractometer assessment of colostrum and serum IgG and milk total solids concentrations in dairy cattle, *BMC Vet. Res.* 10:178

Chigerwe M., J. W. Tyler, J. R. Middleton, J. N. Spain, J. S. Dill and B. J. Steevens (2008). Comparison of four methods to assess colostrum IgG concentration in dairy cows, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 233 (5) : 761-766

Chigerwe M., J.W Tyler, L.G Schultz, J.R Middleton, B.J Steevens and J.N Spain (2008). Effect of colostrum administration by use of oro-esophageal intubation on serum IgG concentrations in Holstein bull calves, *Am. J. Vet. Res.*, 69 (9) : 1158-1163

Chigerwe M., D.M Coons and J.V Hagey (2012). Comparison of colostrum feeding by nipple bottle versus oro-esophageal tubing in Holstein dairy bull calves, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 241 (1) : 104-109

Chigerwe M., J.V Hagey and S.S Aly (2015). Determination of neonatal serum immunoglobulin G concentrations associated with mortality during the first 4 months of life in dairy heifer calves, *J. Dairy Res.*, 82 (4) :400-406

Conneely M. and al. (2013). Factors associated with the concentration of immunoglobulin G in the colostrum of dairy cows, *Animal.*, 7 (11) : 1824–1832

Contarini G. and al. (2014). Bovine colostrum: Changes in lipid constituents in the first 5 days after parturition, *J. Dairy Sci.* 97 (8) : 5065–5072

Cornille M. and al., Qualité du colostrum et transfert de l'immunité passive : comparaison de techniques d'évaluation, In : SNGTV (2014), Journées nationales des GTV, 21-23 mai 2014, Reims, SNGTV, 984p

Deelen S.M, T.L Ollivett, D.M Haines and K.E Leslie (2014). Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves, *J. Dairy Sci.*, 97 (6) : 3838–3844

DeLong W.J, D.G Waldhalm, R.F Hall and D.O Everson (1979). Restricted dietary protein in pregnant beef cows II. Effect on the immune response, *Theriogenology*, 12 (2) : 69-77

DeNise S.K, J. D. Robison, G. H. Stott and D. V. Armstrong (1989). Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers, *J. Dairy Sci.*, 72 (2) : 552-554

Dewell R.D and al. (2006) Association of neonatal serum immunoglobulin G1 concentration with health and performance in beef calves, *J. Am. Vet. Med. Assoc.* ,228 (6) : 914-921

Dinsmore P. and A. Skidmore (2008). Comparison of Brix (sugar) refractometer and colostrometer for evaluation of colostrum quality in dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 91:355

Donovan D.C and al. (2007). Effect of maternal cells transferred with colostrum on cellular responses to pathogen antigens in neonatal calves, *Am. J. Vet. Res.*, 68 (7) : 778–782

Elfstrand L., H. Lindmark-Mansson, M. Paulsson, L. Nyberg and B. Akesson (2002). Immunoglobulins, growth factors and growth hormone in bovine colostrum and the effects of processing, *Int. Dairy J.* 12 879–887

Elizondo-Salazar J.A and A. J. Heinrichs (2009). Feeding heat-treated colostrum or unheated colostrum with two different bacterial concentrations to neonatal dairy calves, *J. Dairy Sci.*, 92 (9) : 4565–4571

Elsohaby I., J.T. McClure and G.P. Keefe (2015). Evaluation of digital and optical refractometers for assessing failure of transfer of passive immunity in dairy calves, *J. Vet. Intern. Med.*, 29 (2) : 721–726

Enjalbert F. (2009). The relationship between trace elements status and health in calves, *Revue Méd. Vét.*, 160 (8-9) : 429-435

Faber S.N, N. E. Faber, T. C. McCauley and R. L. Ax (2005). Case study : effects of colostrum ingestion on lactational performance, *The Professional Animal Scientist*, 21 : 420–425

Filteau V., E. Bouchard, G. Fecteau, L. Dutil and D. DuTremblay (2003). Health status and risk factors associated with failure of passive transfer of immunity in newborn beef calves in Québec, *Can. Vet. J.*, 44 (11) : 907–913

Fleenor, W. A., and G. H. Stott (1980). Hydrometer test for estimation of immunoglobulin concentration in bovine colostrum, *J. Dairy Sci.*, 63 (6) : 973-977

Fleenor, W. A., and G. H. Stott (1981). Single radial immunodiffusion analysis for quantitation of colostrum immunoglobulin concentration. *J. Dairy Sci.*, 64 (5) : 740-747

Foley J.A and D.E Otterby (1978). Availability, storage, treatment, composition, and feeding value of surplus colostrum: A Review, *J. Dairy Sci.*, 61(8) :1033-1060

Furman-Fratczak K., A. Rzasa and T. Stefaniak (2011). The influence of colostrum immunoglobulin concentration in heifer calves serum on their health and growth, *J. Dairy Sci.*, 94 (11) : 5536–5543

Gelsing S.L, S. M. Gray, C. M. Jones and A. J. Heinrichs (2014). Heat treatment of colostrum increases immunoglobulin G absorption efficiency in high-, medium-, and low-quality colostrum, *J. Dairy Sci.*, 97 (4) : 2355–2360

Godden S. (2008). Colostrum management for dairy calves, *Vet Clin Food Anim*, 24 : 19–39

Godden S., D.M Haines, K. Konkol and J. Peterson (2009). Improving passive transfer of immunoglobulins in calves II: Interaction between feeding method and volume of colostrum fed, *J. Dairy Sci.*, 92 (4) : 1758–1764

Godden S.M and al. (2012). Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves: Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness, *J. Dairy Sci.*, 95 (7) : 4029–4040

Gopal P.K and H.S Gill (2000). Oligosaccharides and glycoconjugates in bovine milk and colostrum, *Br. J. Nutr.*, 84 (Suppl 1) : S69-S74

Guatteo R., E. Le Drean, H. Turban, F. Leboeuf, J. Guinard-Flament and Y Le Cozler (2013). Evaluer la teneur en immunoglobulines G du colostrum chez la vache laitière, *Bull. GTV*, 71 : 27-32

Guélou K., M. Liron and F. Schelcher (2013). Alimentation en fin de gestation et immunité du veau, *Le Point Vétérinaire : Prévention nutritionnelle en élevage bovin*, Numéro spécial 2013 : 2 - 9

Gulliksen S.M, K.I Lie, L. Sølverød and O. Østerås (2008). Risk factors associated with colostrum quality in norwegian dairy cows, *J. Dairy Sci.* 91 (2) : 704–712

Guy M.A, T.B McFadden, D.C Cockrell and T.E Besser (1994). Regulation of colostrum formation in beef and dairy cows, *J. dairy Sci.*, 77 (10) : 3002-3007

Hall J.A and al. (2014). Effect of supranutritional maternal and colostral selenium supplementation on passive absorption of immunoglobulin G in selenium-replete dairy calves, *J. Dairy Sci.*, 97 (7) : 4379–4391

Halliday R., A.J Russel, M.R Williams and J.N Peart (1978). Effects of energy intake during late pregnancy and of genotype on immunoglobulin transfer to calves in suckler herds, *Res. Vet. Sci.* 24 (1) : 26-31

Herr M., H. Bostedt and K. Failing (2011). IgG and IgM levels in dairy cows during the periparturient period, *Theriogenology* 75 (2) : 377-385

Hogan I. and al. (2015). Comparison of rapid laboratory tests for failure of passive transfer in the bovine, *Ir. Vet. J.*, 68 (1) : 18

Hostetler D., V.L Douglas, J. Tyler, J. Holle, and B. Steevens (2003). Immunoglobulin G concentrations in temporal fractions of first milking colostrum in dairy cows, *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.*, 1 : 168-171

Hough R.L, F.D McCarthy, H.D Kent, D.E Eversole and M.L Wahlberg (1990). Influence of nutritional restriction during late gestation on production measures and passive immunity in beef cattle, *J. Anim. Sci.* 68 (9) : 2622-2627

James R.E (2009) Clean colostrum and Ig Absorption, VOICE Wisconsin veterinary medical association, [en ligne], URL : www.vtdairy.dasc.vt.edu/docs/clean-colostrum-ig.pdf [consulté le 02 février 2016]

Jaster E.H (2005). Evaluation of quality, quantity, and timing of colostrum feeding on immunoglobulin G1 absorption in Jersey calves, *J. Dairy Sci.*, 88 (1) : 296–302

Johnson J.L, S. M. Godden, T. Molitor, T. Ames, and D. Hagman (2007). Effects of feeding heat-treated colostrum on passive transfer of immune and nutritional parameters in neonatal dairy calves, *J. Dairy Sci.*, 90 (11) : 5189–5198

Kafilzadeh F. and al. (2014). Comparing the effect of oral supplementation of vitamin E, injective vitamin E and selenium or both during late pregnancy on production and reproductive performance and immune function of dairy cows and calves, *The Scientific World Journal*, 2014 : 165841

Kamada H., I. Nonaka, Y. Ueda and M. Murai (2007). Selenium addition to colostrum increases immunoglobulin G absorption by newborn calves, *J. Dairy Sci.*, 90 (12) : 5665–5670

Kang S.H and al. (2007). Changes in the levels of insulin-like growth factors (IGF-I and IGF-II) in bovine milk according to the lactation period and parity, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20 (1) : 119-123

Kehoe S.I, B.M Jayarao and A.J Heinrichs (2007). A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms, *J. Dairy Sci.* 90 (9) : 4108–4116

Kehoe S.I, A.J. Heinrichs, M.L. Moody, C.M. Jones and M.R. Long (2011). Comparison of immunoglobulin g concentrations in primiparous and multiparous bovine colostrum, *The Professional Animal Scientist*, 27 : 176–180

Kessler E.C, R.M Bruckmaier and J.J Gross (2014). Milk production during the colostrum period is not related to the later lactational performance in dairy cows, *J. Dairy Sci.* 97 (4) : 2186–2192

Kryzer A.A, S.M. Godden and R. Schell (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, *J. Dairy Sci.*, 98 (3) : 1870–1877

Kume S. and S. Tanabe (1993). Effect of parity on colostrum mineral concentrations of Holstein cows and value of colostrum as a mineral source for newborn calves, *J Dairy Sci* 76 (6) : 1654-1660

Lacetera N., U. Bernabucci, B. Ronchi and A. Nardone (1996) Effects of selenium and vitamin E administration during a late stage of pregnancy on colostrum and milk production in dairy cows, and on passive immunity and growth of their offspring, *Am. J. Vet. Res.*, 57 (12) : 1776-1780

Lang B. (2008). Colostrum for the dairy calf, Factsheet Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, [En ligne], URL : <http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/veal/facts/08-001.htm> [consulté le 17 décembre 2013]

Le Cozler Y. and al., Teneurs en IgG1 dans le colostrum des vaches et le plasma de leurs veaux IgG1, In : *Renc. Rech. Ruminants* (2012), 19^{ème} journée des 3R, décembre 2012, Paris

Levieux D. and A. Ollier (1999). Bovine immunoglobulin G, bêta-lactoglobulin, alpha-lactalbumin and serum albumin in colostrum and milk during the early *post partum* period. *J. Dairy Res.* 66 (3) : 421-430

Maillard R. (2006). Composition et rôle du colostrum chez les bovins, *Le Point Vétérinaire : Reproduction des ruminants – gestation, néonatalogie et post partum*, Edition spéciale : 72 - 78

Maillard R. and B. Guin (2013). Immunité colostrale chez les bovins, Bull. GTV, 71 : 17-24

Makoschey B., C. Ramage, D. Reddick, S. Fraser and W. Donachie (2012). Colostrum from cattle immunized with a vaccine based on iron regulated proteins of *Manheimia haemolytica* confers partial protection, Vaccine, 30 (5) : 969-73

Manuel d'utilisation, HI 96801 Réfractomètre numérique pour la mesure du saccharose, HANNA Instruments, 2013

Mastellone V. and al. (2011). Effects of passive transfer status on growth performance in buffalo calves, Asian-Aust. J. Anim. Sci., 24 (7) : 952 – 956

McBeath D.G, W.J Penhale and E.F Logan (1971). An examination of the influence of husbandry on the plasma immunoglobulin level of the newborn calf, using a rapid refractometer test for assessing immunoglobulin content, Vet. Rec., 88 (11) : 266–270

McGee M., M.J Drennan and P.J Caffrey (2006). Effect of age and nutrient restriction *pre partum* on beef suckler cow serum immunoglobulin concentrations, colostrum yield, composition and immunoglobulin concentration and immune status of their progeny, Irish J. Agr. Food Res., 45: 157–171

McGuirk S.M and M. Collins (2004). Managing the production, storage, and delivery of colostrum, Vet. Clin. N. Am. - Food A., 20 : 593-603

Mechor G.D, Y.T Grohn, L.R McDowell and R.J VAan Saun (1992). Specific gravity of bovine colostrum immunoglobulins as affected by temperature and colostrum components, J. Dairy Sci. 75 (11) : 3131-3135

Meyer G. and al, Protection des jeunes veaux contre le virus respiratoire syncytial bovin par la vaccination des vaches en fin de gestation, In : SNGTV (2015), Journées nationales des GTV - Parasitisme, 20-22 mai 2015, Nantes, SNGTV, 856p

Moeini M.M, A. Kiani, E. Mikaeili and H.K Shabankareh (2011). Effect of *prepartum* supplementation of selenium and vitamin E on serum Se, IgG concentrations and colostrum of heifers and on hematology, Passive Immunity and Se Status of Their Offspring, Biol. Trace Elem. Res. 144 (1-3) : 529–537

Moore M., J.W Tyler, M. Chigerwe M, M.E Dawes and J.R Middleton (2005). Effect of delayed colostrum collection on colostrum IgG concentration in dairy cows, J. Am. Vet. Med. Assoc., 226 (8) : 1375-1377

Morill K.M, E. Conrad, A. Lago, J. Campbell, J. Quigley and H. Tyler (2012). Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States, J. Dairy Sci. 95 (7) : 3997–4005

Morrill K.M, J. Polo, A. Lago, J. Campbell, J. Quigley and H. Tyler (2013). Estimate of serum IgG concentration using refractometry with or without caprylic acid fractionation, J. Dairy Sci., 96 (7) : 4535–4541

Morrill K.M, K. E. Robertson, M. M. Spring, A. L. Robinson and H. D. Tyler (2015). Validating a refractometer to evaluate immunoglobulin G concentration in Jersey colostrum and the effect of multiple freeze–thaw cycles on evaluating colostrum quality, *J. Dairy Sci.*, 98 (1) :595–601

Morin D.E, G.C McCoy and W.L Hurley (1997). Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of a dried colostrum supplement on immunoglobulin G1 absorption in Holstein bull calves, *J. Dairy Sci.*, 80 (4) : 747–753

Morin D.E, P.D Constable, F.P Maunsell and G.C McCoy (2001). Factors associated with colostrum specific gravity in dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 84 (8) : 937–943

Morin D.E, S.V Nelson, E.D Reid, D.W Nagy, G.E Dahl and P.D Constable (2010). Effect of colostrum volume, interval between calving and first milking, and photoperiod on colostrum IgG concentrations in dairy cows, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 237(4) : 420-428

Muller L.D and D.K Ellinger (1981). Colostrum immunoglobulin concentrations among breeds of dairy cattle, *J. Dairy Sci.*, 64 (8) : 1727-1730

Murphy B.M, M.J Drennan, F.P O'Mara and B. Earley (2005). Cow serum and colostrum immunoglobulin (IgG1) concentration of five suckler cow breed types and subsequent immune status of their calves, *Irish J. Agr. Food Res.*, 44 : 205–213

National Animal Health Monitoring System (1993). Dairy herd management practices focusing on preweaned heifers, National dairy heifer evaluation project., Ft. Collins (CO): USDA-APHIS Veterinary Services

National Animal Health Monitoring System (2007) Dairy herd management practices focusing on preweaned heifers, National dairy heifer evaluation project., Ft. Collins (CO): USDA-APHIS Veterinary Services

Nowak W. and al. (2012) Effect of cow nutrition in the far-off period on colostrum quality and immune response of calves, *Bull. Vet. Inst. Pulawy*. 56 : 241-246

Olson D.P, L.F Woodard, R.C Bull and D.O Everson (1981). Immunoglobulin levels in serum and colostrum whey or protein-metabolizable energy restricted beef cows, *Res. Vet. Sci.* 30 (1) : 49-52

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

Patel S., J. Gibbons and D.C Wathes (2014). Ensuring optimal colostrum transfer to newborn dairy calves, *Cattle practice*, 22 (1) : 95-104

Pavlata L., J. Prasek, J. Filipek and A. Pechova (2004). Influence of parenteral administration of selenium and vitamin E during pregnancy on selected metabolic parameters and colostrum quality in dairy cows at parturition, *Vet. Med. – Czech*, 49 (5) : 149–155

Pritchett L.C, C.C Gay, T.E Besser and D.D Hancock (1991). Management and production factors influencing immunoglobulin G1 concentration in colostrum from Holstein cows, J. Dairy Sci., 74 (7) : 2336-2341

Pritchett L.C, C.C Gay, D.D Hancock and T.E Besser (1994). Evaluation of the hydrometer for testing immunoglobulin G1 concentrations in Holstein colostrum, J. Dairy Sci., 77 (6) : 1761-1767

Quigley J., Calf Note 50 – Colostral leukocytes (2001) [En ligne], URL : <http://www.calfnotes.com/pdf/CN050.pdf> [consulté le 21 juillet 2015]

Quigley J. (2004). The role of oral immunoglobulins in systemic and intestinal immunity of neonatal calves, Diamond V Mills Cedar Rapids IA 52407

Quigley J. (2007). Passive Immunity in Newborn Calves, WCDS Advances in Dairy Technology, 19: 247-265

Quigley J., Calf Note 135 – On methods of IgG analysis (2008), [En ligne], URL : <http://www.calfnotes.com/pdf/CN135.pdf> [consulté le 07 septembre 2015]

Quigley J., Calf Note 136 – Colostrum proteins : more than just IgG, (2008), [En ligne], URL : <http://www.calfnotes.com/pdf/CN136.pdf> [consulté le 12 juillet 2015]

Quigley J., Calf Note 143 – Prevalence of FPT in the US, (2009), [En ligne], URL : <http://www.calfnotes.com/pdf/CN143.pdf> [consulté le 12 décembre 2013]

Quigley J.D, K.R Martin, H.H Dowlen, L.B Wallis and K. Lamar (1994). Immunoglobulin concentration, specific gravity, and nitrogen fractions of colostrum from Jersey cattle, J. Dairy Sci., 77 (1) : 264-269

Quigley J.D, A. Lago, C. Chapman, P. Erickson and J. Polo (2013). Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum, J. Dairy Sci. 96 (2) : 1148–1155

Raboisson D., P. Trillat, C. Cahuzac et E. Maigné, Approche économique du transfert d'immunité passive chez les bovins laitiers et allaitants, In : SNGTV (2016), Journées nationales des GTV – Nutrition et pratique vétérinaire, 18 – 20 mai 2016, Nantes, SNGTV, 984p

Reber A.J and al. (2008) Transfer of maternal colostral leukocytes promotes development of the neonatal immune system I. Effects on monocyte lineage cells, Vet. Immunol. Immunopathol., 123 (3-4) : 186–196

Reber A.J and al. (2008). Transfer of maternal colostral leukocytes promotes development of the neonatal immune system Part II. Effects on neonatal lymphocytes, Vet. Immunol. Immunopathol. 123 (3-4) : 305–313

Reisdorfer L. (2014). Le colostrum est un message de la vache à son veau, pour toute la vie, Obione – Communication scientifique

Robison J.D, G. H. Stott and S. K. DeNise (1988). Effects of passive immunity on growth and survival in the dairy heifer, *J. Dairy Sci.*, 71 (5) : 1283-1287

Russell Sakai R., D.M Coons and M. Chigerwe (2012). Effect of single oroesophageal feeding of 3 L versus 4 L of colostrum on absorption of colostral IgG in Holstein bull calves. *Livest. Sci.* , 148: 296–299

Singh A.K and al. (2011). Bovine colostrum and neonate immunity – A review, *Agri. Review*, 32 (2) : 79-90

Sobczuk-szul M., Z. Wielgosz-groth, M. Wronski and A. Rzemieniewski (2013). Changes in the bioactive protein concentrations in the bovine colostrum of Jersey and Polish Holstein–Friesian cows, *Turk J. Vet. Anim. Sci.*, 37: 43-49

Stelwagen K., E. Carpenter, B. Haigh, A. Hodgkinson and T.T Wheeler (2009). Immune components of bovine colostrum and milk, *J Anim Sci.*, 87(13 Suppl) : 3-9

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

Swecker W.S, C.D Thatcher, D.E Eversole, D.J Blodgett and G.G Schurig (1995). Effect of selenium supplementation on colostral IgG concentration in cow grazing selenium-deficient pastures and postsuckle serum IgG concentration in their calves, *Am. J. Vet. Res.*, 56 (4) : 450-453

Thornhill J.B, G.L Krebs and C.E Petzel (2015). Evaluation of the Brix refractometer as an on-farm tool for the detection of passive transfer of immunity in dairy calves, *Aust. Vet. J.*, 93 (1-2) : 26-30

Tsioulpas A., A.S Grandison and M.J Lewis (2007). Changes in physical properties of bovine milk from the colostrum period to early lactation, *J. Dairy Sci.* 90 (11) : 5012–5017

Tyler J.W, D.D Hancock, S.M Parish, D.E Rea, T.E Besser, S.G Sanders and L.K Wilson (1996). Evaluation of 3 assays for failure of passive transfer in calves, *J. Vet. Intern. Med.*, 10 (5) : 304–307

Tyler J.W, D.D Hancock, S.E Wiksie, S.L Holler, J.M Gay, and C.C Gay (1998). Use of serum protein concentration to predict mortality in mixed-source dairy replacement heifers, *J. Vet. Intern. Med.*, 12 (2) : 79-83

Tyler J.W, B.J Steevens, D.E Hostetler, J.M Holle, J.L Jr Denbigh (1999). Colostral immunoglobulin concentrations in Holstein and Guernsey cows, *Am. J. Vet. Res.* 60 (9) : 1136-1139

Tyler J.W, D.D Hancock, J.G Thorne, C.C Gay and J.M Gay (1999). Partitioning the mortality risk associated with inadequate passive transfer of colostral immunoglobulins in dairy calves, *J. Vet. Intern. Med.*, 13 (4) : 335–337

Université Lille 2 – Droit et santé, Applications pratiques des techniques de sérologie, URL : <http://www3.univ-lille2.fr/immunologie/labo/Cours/DES/immunoprecipitation.pdf> [Consulté le 02 octobre 2015]

Van Amburgh M.E and F. Soberon (2011). Effects of colostrum intake and pre-weaning nutrient intake on post-weaning feed efficiency and voluntary feed intake, *J. Dairy Sci.*, 94 : 69-70

Vandeputte S., J. Detilleux and F. Rollin (2011). Comparison of four refractometers for the investigation of the passive transfer in beef calves, *J. Vet. Intern. Med.*, 25 (6) : 1465-1469

Vetter A., A. Argüello, C. Baumrucker and R.M Bruckmaier (2013). Short communication: Fractional milking distribution of immunoglobulin G and other constituents in colostrum, *J. Dairy Sci.* 96 (9) : 5919–5922

Villarroel A., T.B Miller, E.D Johnson, K.R Noyes and J.K Ward (2013). Factors affecting serum total protein and immunoglobulin G concentration in replacement dairy calves, *Adv. Dairy Res.* 1 : 106

Waldner C.L and L.B Rosengren (2009). Factors associated with serum immunoglobulin levels in beef calves from Alberta and Saskatchewan and association between passive transfer and health outcomes, *Can. Vet. J.*, 50 (3) : 275–281

Wallace M.M, B.D Jarvie, N.R Perkins and K.E. Leslie (2006). A comparison of serum harvesting methods and type of refractometer for determining total solids to estimate failure of passive transfer in calves, *Can. Vet. J.*, 47 (6) : 573–575

Weaver D.M, J.W Tyler, D.C VanMetre, D.E Hostetler and G.M Barrington (2000). Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves, *J. Vet. Intern. Med.*, 14 (6) : 569–577

Wenz J. and S. Poisson (2011). Using a brix scale refractometer to monitor colostrum management and waste milk feeding, Project summary - Winter 2011, Veterinary Medicine Extension, Washington State University, Pullman

Werbrouck B., M.Van Aert and J. Charlier (2010). Colostrum quality in Belgian blue beef cattle and its association with helminth infections, *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 79 (3) : 199-206

Wittum T.E and L.J Perino (1995). Passive immune status at postpartum hour 24 and long-term health and performance of calves, *Am. J. Vet. Res.*, 56 (9) : 1149-1154

Woolums A.R, Immune development of the ruminant neonate, In : Penn state (2010), Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, 10 novembre 2010, Grantville, Penn State Extension, 100p

Annexe 1 : Fiche de consignes à destination des éleveurs laitiers

Etude de la concentration en anticorps dans le colostrum des vaches laitières

E-mail : alexis.stenger@vetagro-sup.fr

Tel : 06 08 13 02 56

Bonjour,

Je m'appelle Alexis STENGER et je suis étudiant en 3^{ème} année à l'école vétérinaire de Lyon. Dans le cadre de ma thèse d'exercice, j'effectue une étude de la concentration en anticorps dans le colostrum des vaches laitières.

Cette étude a deux objectifs :

- Valider l'utilisation d'une « nouvelle » méthode de mesure de la concentration en anticorps dans le colostrum : **la réfractométrie numérique**.
- Etudier l'influence de la ration pendant les 3 dernières semaines de tarissement sur cette concentration.

Afin de mener cette étude à bien, j'ai besoin de rassembler des prélèvements de colostrum et c'est dans ce cadre que je me permets de vous solliciter.

En ce qui concerne **la méthode de prélèvement** :

- Il doit se faire **rapidement après le vêlage** dans les pots de collecte.
- Si la vache est traite dans **un pot à lait propre**, prévu à cet effet, sans contact avec un autre lait ou un autre colostrum, l'échantillon pourra être prélevé dans celui-ci. Sinon il faut prélever l'échantillon en mélangeant des « jets » des quatre quartiers.
- **Identifier le pot avec le numéro de la vache** et la date de prélèvement.
- Remplir **la fiche de renseignements** qui accompagne les pots de prélèvement.
- Congeler le colostrum dans un congélateur « classique » assez rapidement après le prélèvement.

L'étude porte également sur **la ration en fin de tarissement**. En effet, l'alimentation en fin de gestation a une influence majeure sur **la qualité du colostrum et sur la santé des veaux**. Il me faudrait donc connaître la ration des vaches prélevées pendant les trois dernières semaines avant le vêlage (fourrage, concentrés et minéraux).

Suite à cette étude, je vous rendrai **les résultats concernant les concentrations en anticorps de vos colostrums**. A la lumière de ces résultats, nous pourrions voir ensemble les possibilités pour améliorer la qualité du colostrum ainsi que sur le transfert de l'immunité colostrale au veau nouveau-né. En effet, la qualité du colostrum et un transfert colostrale réussi sont indispensables pour la santé et la survie du veau.

N'hésitez pas à me contacter si vous avez la moindre question.

Je vous remercie vivement, par avance, du temps que vous accorderez à cette étude.

Annexe 2 : Fiche de renseignement remplie par les éleveurs laitiers

Conduite zootechnique et alimentation pendant le tarissement

Nom de l'élevage :

Téléphone/ Mail :

Nombre de vaches à la traite :

Race :

CONDUITE ZOOTECHNIQUE	
Durée du tarissement	
Traitement au tarissement (nature du produit)	Antibiotique : Obturateur de trayon:
Les taries sont-elles séparées des vaches en lactation ?	OUI / NON
Réalisez-vous une préparation au vêlage et à la lactation ? Combien de temps dure-t-elle ?	
Les taries sont-elles mises à la pâture en "été" ?	
Si oui, combien de temps avant le vêlage sont-elles rentrées ?	
Quelles sont les dates de mise à l'herbe et de rentrée ?	
ALIMENTATION DES VACHES TARIÉS	
Quelle est la ration des vaches taries pendant « la période hivernale » (au bâtiment) ?	H I V E R S
Quelle est la ration de préparation au vêlage ?	
Sont-elles complémentées en minéraux et oligoéléments ?	
Quelle est la ration des vaches taries pendant « la période estivale » (pâturage) ?	E T E
Quelle est la ration de préparation au vêlage ?	
Sont-elles complémentées en minéraux et oligoéléments ?	

Annexe 4 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 50 g/L – Vaches allaitantes

Tableau XXXVIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches allaitantes

Concentration de 50 g/L IgG – Vaches allaitantes					
Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
20	0,94	0,80	0,99	0,36	0,74
21	0,92	0,80	0,99	0,31	0,72
21,5	0,90	0,80	0,99	0,27	0,70
22	0,87	1,00	1,00	0,26	0,87
22,5	0,85	1,00	1,00	0,23	0,85
22,8	0,82	1,00	1,00	0,20	0,82
23	0,82	1,00	1,00	0,20	0,82
24	0,71	1,00	1,00	0,14	0,71

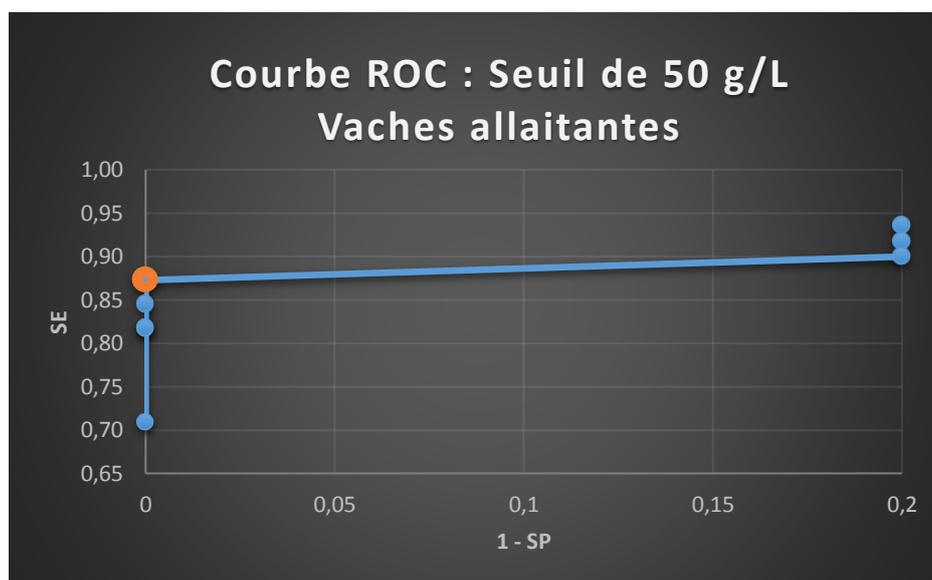


Figure 29 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22 %brix

Annexe 5 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 50 g/L – Vaches laitières et allaitantes

Tableau XXXIX : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 50 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes

Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
18	1,00	0,39	0,87	1,00	0,39
19	0,98	0,49	0,89	0,87	0,47
20	0,95	0,59	0,91	0,75	0,54
21	0,94	0,68	0,93	0,72	0,62
22	0,90	0,78	0,95	0,64	0,68
22,2	0,89	0,78	0,95	0,62	0,67
22,4	0,86	0,83	0,96	0,58	0,69
22,5	0,86	0,83	0,96	0,58	0,69
22,6	0,84	0,83	0,95	0,55	0,67
22,8	0,82	0,88	0,97	0,54	0,70
23	0,82	0,88	0,97	0,53	0,69
24	0,72	0,90	0,97	0,43	0,62
25	0,62	0,95	0,98	0,37	0,57

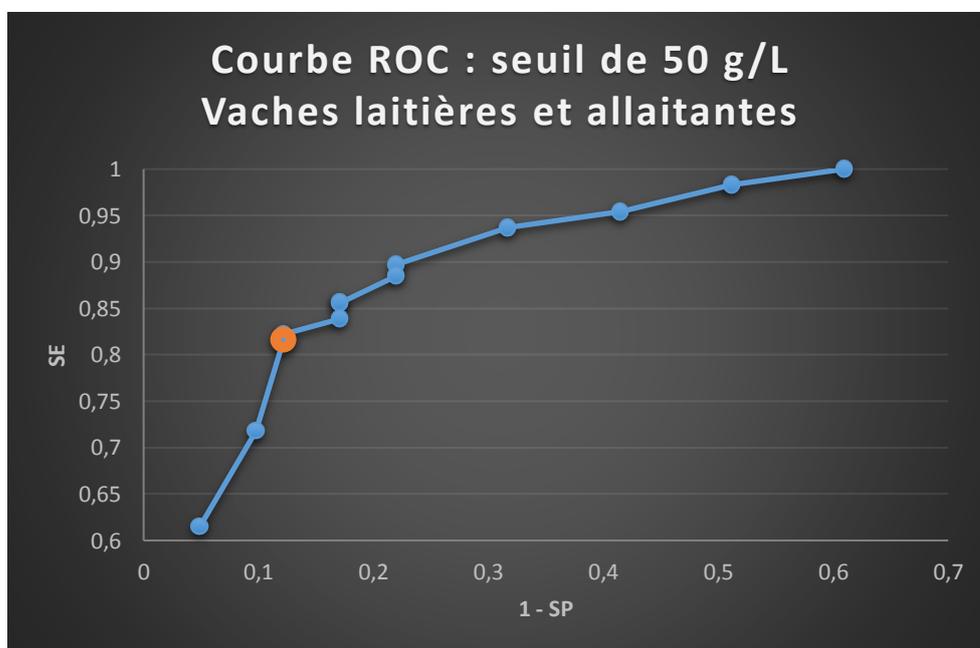


Figure 30 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 22,8 %brix

Annexe 6 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 80 g/L – Vaches laitières

Tableau XL : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières

Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
20	1,00	0,28	0,32	1,00	0,28
21	1,00	0,35	0,34	1,00	0,35
22	1,00	0,41	0,36	1,00	0,41
23	0,88	0,52	0,38	0,93	0,40
23,5	0,88	0,55	0,39	0,93	0,43
24	0,84	0,59	0,40	0,92	0,43
24,5	0,80	0,67	0,44	0,91	0,47
25	0,80	0,73	0,50	0,92	0,53
25,2	0,80	0,75	0,51	0,92	0,55
25,4	0,80	0,76	0,53	0,92	0,56
25,5	0,80	0,76	0,53	0,92	0,56
25,6	0,80	0,76	0,53	0,92	0,56
25,8	0,76	0,80	0,56	0,91	0,56
26	0,72	0,81	0,56	0,90	0,53
27	0,52	0,91	0,65	0,85	0,43
28	0,40	0,95	0,71	0,83	0,35
29	0,32	1,00	1,00	0,82	0,32

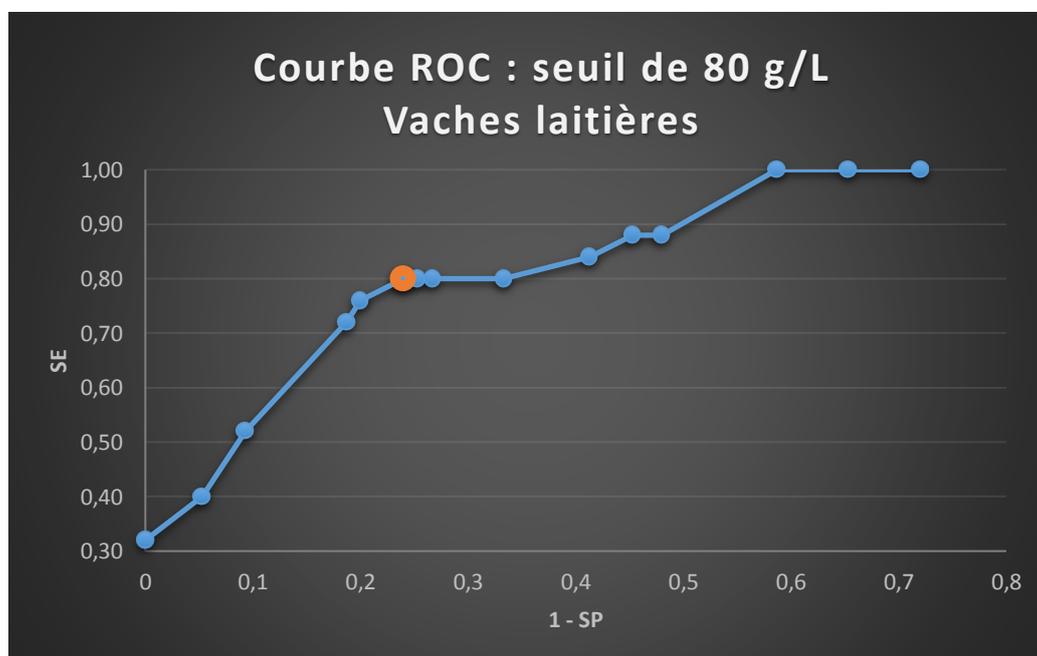


Figure 31 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix

Annexe 7 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 80 g/L – Vaches laitières et allaitantes

Tableau XLI : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 80 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes

Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
20	0,97	0,26	0,56	0,91	0,24
21	0,97	0,33	0,58	0,92	0,30
22	0,95	0,41	0,61	0,90	0,36
23	0,90	0,52	0,64	0,84	0,41
24	0,86	0,65	0,70	0,83	0,50
24,5	0,83	0,71	0,73	0,81	0,54
25	0,80	0,77	0,77	0,80	0,57
25,2	0,80	0,78	0,78	0,80	0,58
25,4	0,79	0,79	0,78	0,80	0,58
25,5	0,79	0,80	0,79	0,80	0,59
25,6	0,77	0,80	0,79	0,79	0,57
25,8	0,74	0,83	0,80	0,77	0,57
26	0,71	0,85	0,82	0,76	0,56
27	0,59	0,93	0,89	0,70	0,52
28	0,45	0,96	0,92	0,65	0,41

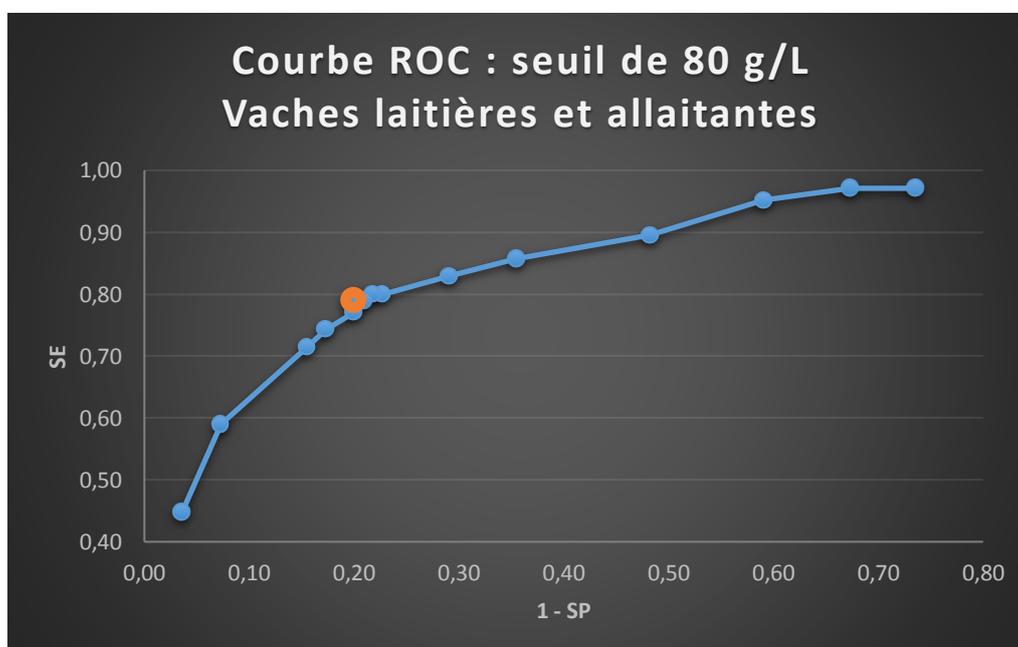


Figure 32 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 25.5 %brix

Annexe 8 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 100 g/L – Vaches laitières

Tableau XLII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières

Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
24	1,00	0,55	0,25	1,00	0,55
25	0,92	0,68	0,30	0,98	0,60
25,5	0,92	0,70	0,32	0,98	0,62
26	0,92	0,77	0,38	0,99	0,69
26,2	0,85	0,79	0,38	0,97	0,64
26,5	0,85	0,86	0,48	0,97	0,71
26,8	0,85	0,87	0,50	0,97	0,72
27	0,77	0,89	0,50	0,96	0,65
27,5	0,77	0,92	0,59	0,96	0,69
28	0,69	0,94	0,64	0,95	0,64
29	0,62	1,00	1,00	0,95	0,62

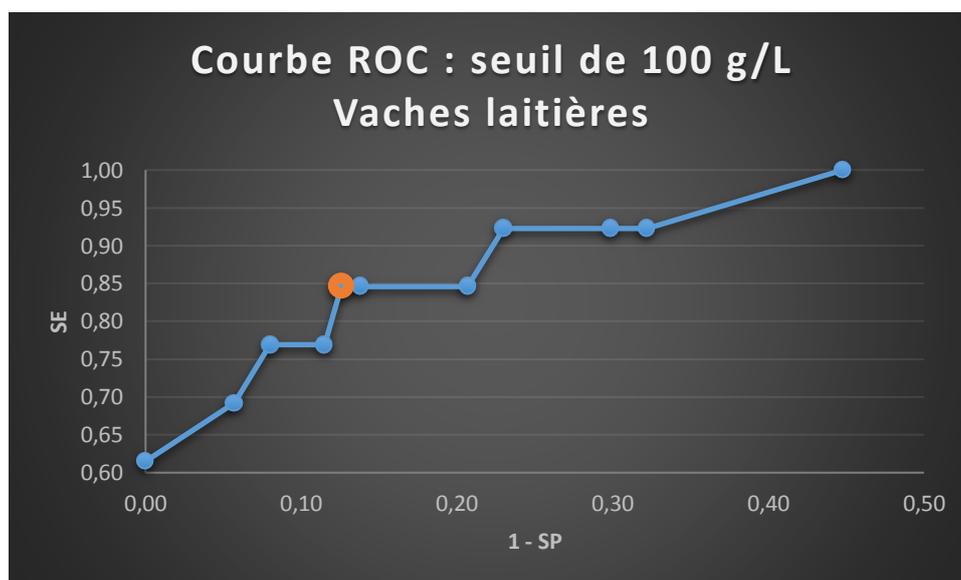


Figure 33 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 26.8 %brix

Annexe 9 : Evaluation du réfractomètre numérique dans l'évaluation de la qualité du colostrum – Concentration de 100 g/L – Vaches laitières et allaitantes

Tableau XLIII : Seuils en degré brix correspondant à la concentration de 100 g/L d'IgG, assorti des valeurs caractéristiques du test et de l'indice de Youden, déterminé avec des colostrums de vaches laitières et allaitantes

Seuil (%brix)	Se	Sp	VPP	VPN	Indice de Youden (J)
24	0,92	0,54	0,47	0,94	0,46
25	0,86	0,65	0,51	0,92	0,51
25,5	0,85	0,67	0,52	0,91	0,51
26	0,82	0,74	0,58	0,90	0,56
26,2	0,79	0,76	0,59	0,89	0,55
26,5	0,77	0,83	0,66	0,89	0,60
26,8	0,75	0,84	0,67	0,89	0,59
27	0,74	0,85	0,68	0,88	0,59
27,5	0,65	0,87	0,69	0,85	0,52
28	0,60	0,92	0,77	0,84	0,52
29	0,43	0,98	0,90	0,80	0,41
30	0,31	0,99	0,91	0,77	0,30

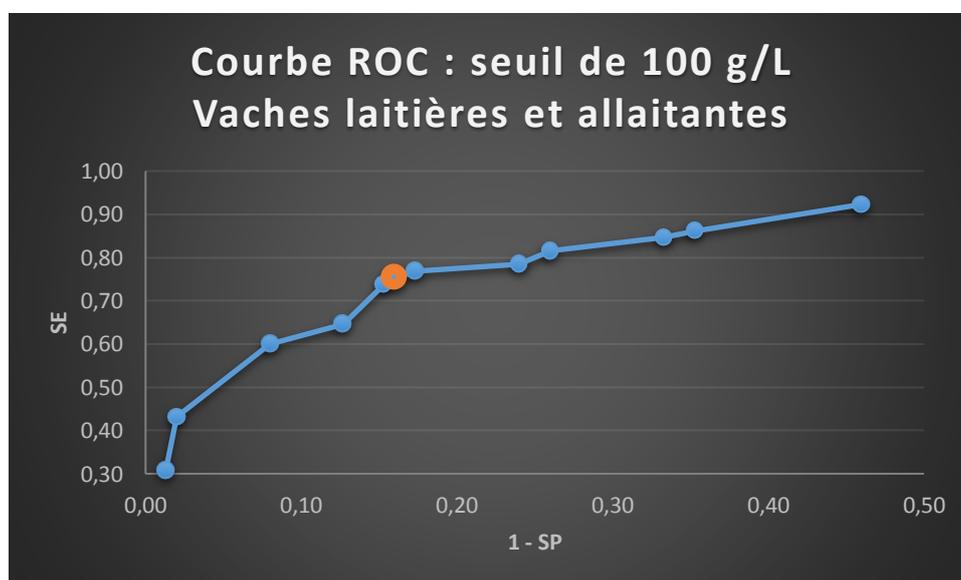


Figure 34 : Courbe de l'analyse ROC représentant la sensibilité en fonction de 1-spécificité. Le point orange correspond au seuil de 26.8 %brix

Alexis STENGER

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

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 09 septembre 2016

RESUME :

Le veau naît agammaglobulinémique. Il dépend du transfert d'immunité passive pour l'acquisition d'effecteurs de l'immunité. Les immunoglobulines G sont les principaux effecteurs qui sont transmis de la mère au veau par l'intermédiaire du colostrum. L'échec du transfert colostrale accroît le risque de morbidité et de mortalité, tout en ayant des conséquences délétères sur les productions futures.

La qualité du colostrum, c'est-à-dire sa concentration en IgG, est l'un des facteurs les plus importants qui détermine la réussite du transfert colostrale. Le réfractomètre numérique calibré en degrés brix (% brix) est un outil simple et rapide d'utilisation qui présente de bonnes performances dans l'évaluation de la qualité du colostrum, aussi bien en élevage allaitant, qu'en élevage laitier. Il peut être utilisé comme un test diagnostique, en comparant la valeur réfractométrique d'un colostrum à des valeurs seuils que nous avons fixées à 22.8 – 25.5 et 27 % brix qui correspondent aux concentrations de référence de 50 – 80 et 100 g/L. De la même façon, cet outil peut être utilisé pour l'estimation de la concentration sérique en IgG chez le veau en associant les valeurs de 8.4 et 9 % brix à 10 et 16 g/L d'IgG.

Enfin, nous nous sommes intéressés à l'influence de l'alimentation des vaches laitières pendant le tarissement sur la qualité du colostrum. Les vaches ayant comme fourrage de base pendant les trois dernières semaines avant la mise-bas de l'herbe fraîche, ou conservée sous forme humide, produisent un colostrum de meilleure qualité que les vaches consommant de l'ensilage de maïs.

MOTS CLES :

- Colostrum
- Bovins
- Réfractométrie
- Alimentation
- Arrêt de la lactation

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Olivier CLARIS
1er Assesseur : Monsieur le Professeur Laurent ALVES DE OLIVEIRA
2ème Assesseur : Monsieur le Professeur Claire BECKER

DATE DE SOUTENANCE : 09 Septembre 2016 - 18 h

ADRESSE DE L'AUTEUR :

9 rue des Tailleurs - 57 960 MEISENTHAL