Impact de l'alimentation lactée et des performances pré-sevrages sur la productivité des vaches en première lactation

Mémoire

Jennifer Philion

Maîtrise en sciences animales - avec mémoire
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

© Jennifer Philion, 2022

Impact de l'alimentation lactée et des performances pré-sevrages sur la productivité des vaches en première lactation

Mémoire

Jennifer Philion

Sous la direction de :

Édith Charbonneau, directrice de recherche
Éric Paquet, codirecteur de recherche

Résumé

Ce projet avait comme objectif d'évaluer l'impact de l'alimentation lactée en pré-sevrage sur le développement des génisses et sur les performances en première lactation. Deux traitements ont été mis en place, le premier suivant la recommandation canadienne actuellement en vigueur (20 % de poids vif à la naissance en aliment lacté) et le second offrant du lactoremplaceur à volonté en période de pré-sevrage. Des collectes de données ont été réalisées afin d'obtenir le poids corporel, la circonférence thoracique, la hauteur aux hanches et au garrot ainsi que la largeur aux hanches sur un total de 179 génisses Holstein d'une ferme commerciale de la région de Québec. Les données de lactation ont été récoltées au cours de la première lactation à l'aide du logiciel en place sur la ferme de l'étude. Les résultats du projet ont montré qu'offrir du lactoremplaceur à volonté permet aux génisses d'atteindre un poids corporel plus élevé à 55 jours d'âge et à 11 mois d'âge en comparaison à l'alimentation selon la recommandation canadienne. Le gain moyen quotidien était aussi plus important pour les génisses suivant un régime alimentaire à volonté pour les mêmes périodes. La hauteur aux hanches était significativement supérieure à 55 jours d'âge, au sevrage et à 11 mois d'âge pour les génisses consommant du lactoremplaceur à volonté avec une consommation de plus de 7,5 l/jour. L'abandon d'une des fermes du projet a résulté en un nombre plus faible que prévu de génisses suivies en post-sevrage, ce qui n'a pas permis de conclure sur l'impact des traitements pour la productivité des animaux en lactation. Les résultats du projet indiquent que la différence de croissance des animaux lorsque nourris à volonté persistent après le sevrage, jusqu'à l'approche de la puberté, et ce même si le traitement comparatif correspond à une quantité d'aliment lacté qui est considéré comme répondant aux besoins des animaux.

Abstract

The objective of this project was to assess the impact of milk replacer feeding in pre-weaning on the development of heifers as well as on the performance of cows in first lactation. Two treatments during the pre-weaning period were compared 1) the current Canadian recommendation and 2) offering *ad libitum* access to milk replacer. Measured parameters were: body weight, thoracic circumference, withers height, hips height and hips width. A total of 179 Holstein heifers from a commercial farm in the region of Quebec City participated in the study. Lactation data was recorded throughout the entire lactation using the software in place on the study farm. Results showed that *ad libitum* milk replacer allows heifers to achieve higher body weight at 55 days of age and at 11 months of age compared to the Canadian recommendation. Thus, the average daily gain was also greater for heifers receiving an *ad libitum* diet for the same periods. Hip height was significantly higher at 55 days of age, at weaning and at 11 months of age for heifers consuming milk replacer *ad libitum* with a consumption of more than 7.5 l/day. One of the farms of the project quit for post-weaning measurements resulting in less data, which did not make it possible to conclude on the impact of treatments on the productivity of lactating animals. Results from the project confirm that the increase in growth performance is maintained after weaning, up to puberty, even if in the comparative treatment, the offer of milk replacer is considered to meet the animal needs.

Table des matières

Résumé ii
Abstract iii
Table des matières iv
Liste des tableaux vi
Liste des figures vii
Liste des abréviations viii
Remerciements ix
Avant-propos xi
Introduction 1
Chapitre 1 Revue des travaux antérieurs 3
1.1 Facteurs influençant le développement des génisses 3
1.1.1 Soins à la naissance 3
1.1.2 Colostrum 6
1.1.3 Environnement 8
1.1.4 Alimentation 10
1.2. Impact des quantités d'aliments lactés offertes sur le développement des génisses . 17
1.2.1 Gain moyen quotidien 17
1.2.2 Mesures corporelles 21
1.2.2 Sevrage 23
1.2.3 Performances de reproduction 27
1.3 Impact du développement sur la productivité en première lactation 30
1.3.1 Développement de la glande mammaire 30
1.3.2 Production laitière 33
1.4 Hypothèse et objectifs du projet de maîtrise 36
Chapitre 2 Impact of milk feeding on pre- and post-weaning performance of Holstein dairy heifers 38
2.1 Résumé 38
Abstract 39
Graphical abstract 40
..... 40
2.1 Introduction 41
2.2 Material and methods 42
2.2.1 Animals, treatments and procedures 42

2.2.2 Data collection 44
2.2.3 Statistical Analysis 44
2.3 Results and Discussion 46
2.3.1. Preweaning period 46
2.3.2. Weaning and post-weaning period 47
2.4 Conclusion 49
Notes 50
2.6 References 53
Conclusion 56
Liste des ouvrages cités 59
Annexes 75
Annexe 1. Résultats de productivité en première lactation 75
Annexe 2. Graphiques des courbes de lait corrigé pour l'énergie en fonction des différents traitements 76

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1. Présentation des besoins nutritionnels et du rapport gain de poids-alimentation pour un veau de 50 kg sous conditions de thermoneutralité (établis selon les équations du NRC (2001) et modifiées selon Cornell-Illinois (Van Amburgh et Drackley, 2005)..... 11

Chapitre 2

Table 1. Preweaning growth performances data……...43

Table 2. Postweaning growth performances data……..44

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1. Évolution de la consommation d'aliments secs au cours des 42 premiers jours de l'étude en fonction du niveau de lactoremplaceur (LR). Les cercles vides indiquent 8 L de LR/j (HLR) offert à un taux de dilution de 12,5 % et les cercles pleins représentent 6 L de LR/j (BLR) à un taux de dilution de 10 %. Les astérisques indiquent les jours d'étude où la consommation d'aliments secs différait (P < 0,05) entre les veaux BLR et HLR. Les barres d'erreur représentent la SE à chaque instant. – Tirée de Bach et al. (2013). 13

Figure 2 : Gain de masse quotidien de la naissance jusqu'à 110 jours de vie. Des lettres minuscules différentes signifient une différence significative (P < 0,001). Des lettres majuscules différentes signifient une tendance (P < 0,10). Adapté de Korst et al. (2017) .. 20

Figure 3. Méthode de sevrage basée sur la consommation de concentré. La ligne pleine représente la consommation d'aliment lacté. La ligne pointillée représente la consommation de concentré a) Consommation quotidienne de 0,7 kg de concentré sur une période de 4 jours consécutifs. b) Consommation quotidienne de 2 kg concentrés sur une période de 4 jours consécutifs qui définit la fin du sevrage – Adapté de Roth et al., 2009 25

Figure 4 La ligne rouge représente les génisses sous le traitement AdLib et la ligne bleue celles sous le traitement ReCan 76

Figure 5 La ligne rouge représente les génisses sous le traitement AdLib et la ligne bleue celles sous le traitement ReCan 77

Liste des abréviations

ADG	Average daily gain
BLR	Traitement fixé à 6 L de lactoremplaceur
BRD	Maladie respiratoire bovine
kg	Kilogramme
GMQ	Gain moyen quotidien
HLR	Traitement fixé à 8 L de lactoremplaceur
j	Jour
IGF-1	Facteur de croissance 1
IgG	Immunoglobuline de type G
kg	Kilogramme
LR	Lactoremplaceur
MS	Matière sèche
PC	Poids corporel
PV	Poids vif
SD	Standard deviation
SE	Standard error
TPI	Transfert passif de l'immunité

Remerciements

L’idée de poursuivre mes études au cycle supérieur m’est venue à la suite de mon embauche en tant qu’auxiliaire de recherche au sein de l’équipe d’Édith Charbonneau. J’ai eu la chance d’être immiscer dans ce domaine qu’est la recherche et c’est d’ailleurs par l’entremise de ce poste que l’on m’a proposé mon projet de maîtrise, projet répondant dans son entièreté à mes aspirations académiques et professionnelles.

La réalisation de mon projet de maîtrise a été une expérience fort enrichissante qui m’a amené à faire la rencontre de collègues et de collaborateurs sans qui les deux dernières années n’auraient pas été possibles, c’est pourquoi je tiens à remercier :

Édith, je n’aurai vu personne d’autre comme ma directrice de maîtrise. J’ai eu la chance de travailler avec toi d’abord en tant qu’auxiliaire de recherche, puis qu’auxiliaire d’enseignement pour finalement devenir ton étudiante à la maîtrise, sans compter mon stage professionnel réalisé aussi avec toi. J’ai réellement apprécié mon parcours au sein de ton équipe, cela m’a permis de grandir tant au niveau académique que personnel. Je te remercie pour ta pédagogie, ta disponibilité, tes connaissances et ton côté humain qui rendent la collaboration avec toi toujours agréable. Je te remercie pour ton référencement qui m’aura permis de rapidement décrocher un emploi par lequel j’espère que les collaborations futures seront fréquentes.

Éric, co-directeur que j’ai hautement apprécié pour tes connaissances, ton intérêt et ta curiosité pour le domaine des sciences animales. Un merci tout spécial pour l’introduction au domaine des statistiques, pour tes réponses face aux multiples questionnements que j’ai eus en lien avec ce logiciel qu'est R. Grâce à toi, j’ai pu explorer et développer des compétences nouvelles qui ont d’ailleurs su m’ouvrir des portes. Au plaisir de faire de futures collaborations.

Je tiens à remercier la ferme du projet pour votre participation ainsi que votre grande disponibilité, sans vous il m'aurait été impossible de réaliser ce grand projet. Merci également à Marwa Hasnaoui, Ousmane Magassa, Annie Pelletier, Sophie Mercier, Catherine Dallaire, Léonie Laflamme-Michaud, Annie Brégard et Simon Binggeli pour leur aide au cours de la phase expérimentale, mais aussi pour leur appui tout au long du projet.

Je ne peux conclure ces remerciements sans mentionner l'importance de mon entourage, mes parents, mon conjoint et mes amis qui ont su m'épauler, m'encourager et me soutenir durant ces deux dernières années.

Finalement, je tiens à remercier les partenaires financiers, soit le CRIBIQ, Novalait ainsi que le CRSNG sans qui cette étude n'aurait évidemment pas été possible. À toutes les personnes qui ont pu contribuer à la réussite de mon projet, je tiens sincèrement à vous remercier.

Avant-propos

Ce mémoire contient un chapitre rédigé sous forme d'article scientifique. Je suis l'auteure principale de cet article, les coauteurs sont les chercheurs É. Paquet, L. Laflamme-Michaud, D. E. Santschi et É. Charbonneau. Toutes ces personnes se sont impliquées dans les travaux. L'article portant le titre « Impact of milk feeding on pre- and post-weaning performances of Holstein dairy heifers » sera soumis pour publication dans le « JDS communication ».

Introduction

Dans le secteur laitier, les génisses sont la relève des vaches productrices. S'assurer qu'elles soient en mesure d'exprimer leur plein potentiel devrait être considéré comme une priorité chez les éleveurs afin d'assurer la pérennité des entreprises laitières. Ainsi, approfondir et comprendre les liens entre les programmes d'élevage pré-sevrage et les impacts encourus chez les génisses laitières est crucial. Parmi les composantes d'élevages influençant le développement des jeunes ruminants, l'importance de l'alimentation lactée est indéniable.

Antérieurement, la restriction des quantités de lait ou de lactoremplaceur chez les jeunes génisses laitières se voulait une pratique de régie courante (Drackley, 2012). Toutefois, au cours des dernières décennies, des études se sont penchées sur les impacts de l'augmentation de l'apport en aliment lacté offert aux génisses laitières (Huber et al., 1984). De nos jours, ces études ont su démontrer qu'un apport accru de lait (Flower et Weary, 2001 ; Jasper et Weary, 2002 ; Khan et al., 2007) ou de lactoremplaceur (Brown et al., 2005 ; Bartlett et al., 2006 ; Cowles et al., 2006 ; Terré et al., 2006 ; Hill et al., 2008 ; Raeth-Knight et al., 2009 ; Stamey et al., 2012) entraîne des impacts positifs sur le taux de croissance et la conversion alimentaire. On constate d'ailleurs l'adoption d'une offre plus élevée en aliments lactés dans l'industrie (Drackley, 2012). Ces nouveaux programmes sont généralement connus sous le nom de programmes d'alimentation précoce améliorée, de croissance accélérée ou encore de nutrition améliorée ou intensive ou de croissance biologique normale. De façon générale, ce sont majoritairement le taux de croissance des veaux et les variables économiques qui ont été étudiés, et ce, sur un horizon temporel limité. Autrement dit, les impacts de ces facteurs sur les performances futures de ces animaux ont été moins étudiés. De plus, les différences encourues entre un régime permettant une croissance biologique normale et une alimentation à volonté ont été moins étudiées dans la littérature.

Ainsi, le premier chapitre de ce mémoire s'intéressera aux impacts des programmes alimentaires lactés sur la croissance et le développement des génisses laitières. Il y sera traité des effets engendrés tant en période de pré- que de post-sevrage. Un recensement des connaissances sur les impacts au niveau des performances en reproduction et sur la productivité pendant la lactation sera aussi effectué. Le deuxième chapitre s'attardera à la comparaison de deux programmes alimentaires lactés quant aux impacts engendrés sur les

performances de croissance en pré-sevrage et à l'approche de la puberté, soit vers 11 mois d'âge. Pour ce faire, une alimentation lactée fixée à 20 % du poids vif à la naissance et une alimentation à volonté seront comparées, permettant ainsi d'évaluer l'impact d'offres de volume élevé. L'abandon d'une des fermes de l'étude a entraîné un manque de données expérimentales et aucune conclusion quant à l'impact des traitements sur la productivité en première lactation n'a pu être émise. Les données ayant été récoltées sont toutefois présentées en annexe de ce mémoire (Annexes I et II).

Chapitre 1 Revue des travaux antérieurs

1.1 Facteurs influençant le développement des génisses

Sur une ferme laitière, nombreuses sont les pratiques de gestion pouvant influencer le développement des génisses. Afin d'assurer une relève de qualité, il est primordial d'exercer un contrôle rigoureux sur ces paramètres et de bien en comprendre l'étendue des répercussions possibles. Les soins donnés à la naissance, l'administration du colostrum, l'alimentation, la gestion du sevrage, l'état de santé et l'environnement offert aux génisses sont tous des exemples de paramètres nécessitant d'être bien maîtrisés. Les recherches ont montré que la rentabilité des élevages ainsi que le bien-être des animaux sont positivement influencés par la prise en compte des comportements naturels dans les décisions de gestion des génisses. Il est connu qu'une interaction existe entre l'alimentation, le comportement et même l'environnement (von Kerserlingk et al., 2009 ; Khan et al., 2011b). Le développement des génisses est donc modulable par le type de facteurs auxquels elles sont exposées. Non seulement, les impacts sont observables à court terme, notons ici les performances de croissance, mais la productivité des vaches en première lactation peut aussi être influencée par les pratiques de gestion. Les programmes d'élevages sont donc critique à l'efficacité technico-économique des entreprises laitières. Un autre aspect d'importance est le facteur économique associé à l'élevage de cette relève (Heinrichs, 1993). Ainsi, les composantes d'élevage ont un impact sur le développement des génisses laitières et ce développement peut influencer la productivité, donc la rentabilité en première lactation.

1.1.1 Soins à la naissance

En termes de soins à la naissance, plusieurs paramètres se doivent d'être considérés, dont l'emplacement du vêlage, la séparation du veau de la mère, les soins apportés au nombril ainsi que le premier apport de colostrum (Klein-Jöbstl et al., 2014). Le type de logement de de la mère peut avoir un impact important sur la santé des veaux (Lorenz et al., 2011). Selon Vasseur et al., (2010), les vaches devraient vêler dans un emplacement conçu à cet effet afin de minimiser le stress et d'assurer un niveau de confort et d'hygiène optimal. Les vaches

vêlant en stabulation entravée ne seraient pas en mesure d'adopter une position confortable, leur capacité de mouvement étant brimée (Mee, 2004).

Pour les vêlages en enclos ou en parcs, l'étude de Bewley et al., (2001) aurait révélé que les producteurs chez qui les vêlages surviennent en enclos individuel seraient plus satisfaits du niveau de santé de leurs veaux que ceux où les vêlages ont lieu dans un parc de groupe sur litière accumulé ($P < 0,05$). Les veaux naissant en logement de groupe seraient probablement exposés à une concentration plus élevée de pathogènes que les veaux naissant en enclos individuel (Bewley et al., 2001). D'ailleurs, Garber et al., (1994) ont observé que les risques de cryptosporidiose, une maladie causant des diarrhées infectieuses, seraient moins élevés lors de vêlage en enclos individuel ($P = 0,04$). À noter que la diarrhée du veau a été répertoriée comme l'un des problèmes les plus importants sur les fermes laitières puisqu'elle peut entraîner de grands impacts économiques (Torsein et al., 2011). Ainsi, il serait non seulement recommandé que les vaches vêlent en enclos individuel, mais cet enclos doit aussi être adapté. Selon Mee (2008), un enclos de vêlage individuel devrait avoir une superficie de 12 pi^2 avec une base de sable ou de caoutchouc et être recouvert de paille. Les vaches devraient être en mesure de se coucher confortablement afin de répondre à leur comportement naturel.

En contexte d'élevage laitier, il est pratique courante de retirer le veau de sa mère rapidement, soit dans les premières 24 h de vie (de Passillé et al., 2008). Une séparation rapide permettrait de limiter la formation d'un lien d'attachement, ce qui réduit l'importance du stress vécu par les animaux (Beaver et al., 2019). Effectivement, les veaux séparés plus tardivement manifesteraient plus de comportements représentatifs de stress que les veaux ayant été séparés à seulement un jour d'âge (Stěhulová et al., 2008). Certaines études ont démontré des bénéfices biologiques aux méthodes d'élevage sans contact vache-veau. Effectivement, une séparation rapide réduirait les risques d'incidence des diarrhées ($P = 0,046$) tout en diminuant les risques de transmission de maladie (Roth et al., 2009a ; Beaver et al., 2019). Une séparation rapide (< 24 h de vie) entraînerait une meilleure supervision de la quantité de colostrum et de lait ingérée, facteurs primordiaux à la santé des génisses laitières (Flower et

Weary, 2003). Évidemment, chacune de ces composantes à un rôle important au niveau du développement optimal des génisses.

Au niveau de la désinfection du nombril, l'importance d'une bonne hygiène de l'emplacement de vêlage est sans conteste. Effectivement, la prévention de l'inflammation du cordon ombilical passe par le niveau d'hygiène auquel les veaux sont exposés (Gorden et Plummer, 2010). La littérature stipule que les producteurs devraient se concentrer non seulement sur la propreté des emplacements de vêlage, mais aussi sur l'acquisition d'une bonne immunité par les veaux. D'ailleurs, lors de problématiques récurrentes en lien avec le cordon ombilical, Morin (2021) recommande de désinfecter régulièrement celui-ci à l'aide de désinfectant reconnu, tel que la teinture d'iode (7 %), un mélange d'alcool et d'iode, de la Chlorhexidine ou de l'iode forte (16 %) diluée.

Une bonne administration du colostrum, soit le moment, la quantité, la qualité et la méthode par laquelle il est offert sont tous des facteurs cruciaux à la santé des veaux. Ces aspects seront toutefois plus amplement discutés dans la prochaine section de ce mémoire. La gestion des veaux à la naissance ou peu après la naissance est cruciale à la vie des génisses. Effectivement, en bas âge, celles-ci sont très susceptibles aux maladies, plus particulièrement aux problèmes respiratoires ainsi qu'à l'incidence de diarrhées (Radostits, 2001 ; Svensson et al., 2003 ; Lundborg et al., 2005). Selon Wells et al. (1996), les risques morbidité et de mortalité seraient plus élevés au cours des 21 premiers jours de vie. De plus, un sondage ayant été réalisé au Canada sur un total de 1373 fermes a révélé que les taux de mortalité en période de pré-sevrage s'élèveraient à 6,4 ± 8,3 %, puis à 2,5 ± 4,4 % en post-sevrage (Winder et al., 2018). Certaines analyses ont su mettre en évidence que respectivement, 16 % et 12 % des mortalités liées au moment de la séparation mère veau et à la facilité de vêlage pourraient être évités en procédant à des changements au niveau de la régie d'élevage (Wells et al., 1996).

Les épisodes de maladies et les désordres physiologiques peuvent affecter le bien-être global des génisses et engendrer des impacts économiques négatifs sur les entreprises (Roth et al., 2009b). D'ailleurs, il existerait une corrélation négative ($r = -0,48$) entre les épisodes de fièvre

et le gain moyen quotidien (GMQ) des veaux en période de pré-sevrage ce qui pourrait mener à un retard de croissance (Roth et al., 2009b). De plus, les veaux exposés à un stress de chaleur chronique connaîtraient un retard dans le développement de leur système immunitaire (Dado-Senn et al., 2020 ; Marrero et al., 2021). Selon Marrero et al. (2021), la concentration d'IgG sérique de veaux âgés de 28 à 49 jours d'âge, serait significativement plus basse chez les veaux ayant souffert d'un stress thermique prolongé ($P = 0,05$). La concentration en sérotonine, un neuromodulateur reconnu pour son rôle dans les réponses aux stresseurs physiques, métaboliques et environnementaux, était aussi plus basse chez les veaux exposés à un stress de chaleur prolongé ($P = 0,04$), et ce, de 1 à 49 jours d'âge (Marrero et al., 2021). Dado-Senn et al. (2020) mentionnent également que les réponses thermorégulatrices comme le rythme respiratoire, le rythme cardiaque et la température corporelle des veaux en stress thermique (mesure prise en début d'après-midi) seraient significativement plus élevés que chez les veaux bénéficiant de techniques de refroidissement ($P < 0,01$). Il est reconnu que les techniques permettant de réduire l'impact du stress de chaleur seraient efficaces dans l'amélioration de la prise alimentaire et de la santé de veaux (Dado-Senn et al., 2020). L'incidence de problèmes liés à la santé peut même avoir un impact sur les performances futures en reproduction. Effectivement, selon Abuelo et al. (2021), les génisses ayant souffert de la maladie respiratoire bovine (BRD) tout en ayant été traité par traitement antibiotique (gamithromycin (6,6 mg/kg sous-cutanés)) en période de pré-sevrage auraient 14 % moins de chances d'être inséminées ou de se rendre au premier vêlage que celles n'ayant pas été diagnostiquées.

1.1.2 Colostrum

Les techniques de gestion et d'administration du colostrum sont primordiales à la santé des génisses laitières, puisque les ruminants naissent pratiquement sans immunité. Concrètement, le type de placentation de la vache ne permet pas d'échange sanguin entre la mère et le fœtus (Godden et al., 2019). Cette barrière placentaire empêche ainsi le transfert des immunoglobulines de la circulation maternelle à celle fœtale tout au long de la gestation. Les veaux naissent donc avec un système immunitaire qualifié d'immature (Cortese, 2009). C'est par l'ingestion d'un colostrum de bonne qualité que les génisses pourront acquérir une

certaine immunité. Effectivement, le colostrum est une source importante d'immunoglobuline et permet le transfert passif de l'immunité (TPI) ce qui assure une protection immunitaire temporaire contre les pathogènes pouvant se retrouver dans l'environnement des génisses (Weaver et al., 2000). Le TPI permet de protéger les génisses contre certains organismes néfastes avant que leur propre système immunitaire devienne fonctionnel (Godden et al., 2019). L'échec du TPI aurait été corrélé avec une hausse des taux de morbidité et de mortalité (Beam et al., 2009).

Le délai entre la naissance et la première ingestion de colostrum se doit d'être court. Les producteurs devraient viser un premier boire dans les 2 premières heures de vie. Le volume recommandé est de 10 à 12 % du poids corporel à la naissance, soit de 3 à 4 L en moyenne pour un veau Holstein (Godden et al., 2019). Toutefois, c'est la quantité d'immunoglobulines de type G (IgG) ingéré qui est réellement importante pour la santé des veaux. Effectivement, selon Quaile (2015) la masse d'IgG colostrale à ingérer devrait être de 150 à 200 mg/ml afin d'optimiser le TPI. C'est pourquoi il est primordial d'assurer la qualité du colostrum offert aux génisses.

Des études antérieures stipulent qu'un colostrum est considéré comme étant de qualité lorsque sa concentration en IgG est supérieure à 50 g/L (Garcia et al., 2021). Un tel taux d'IgG permettrait d'assurer un TPI adéquat. Afin de considérer le TPI comme réussi, il est reconnu que le taux sérique en IgG, mesuré entre 1 et 7 jours de vie, doit être supérieur à 10 g/L (Buczinski et al., 2018). À ce taux, les veaux auraient de meilleures performances, et ce, tant à court qu'à moyen terme (Berge et al., 2009a ; Furman-Fratczak et al., 2011). Sous le point de passage de 10 g/L d'IgG, les taux de mortalité sont plus élevés. Toutefois, ce standard en réévaluation, car bien que le taux de mortalité ait diminué au courant des dernières années le taux de morbidité, lui, n'aurait pas fluctué même si seulement 10 % des veaux n'atteignent pas le standard de 10 g/L d'IgG (Lombard et al., 2020). En fait, certaines études ont pu observer que les taux de morbidités subiraient une baisse importante lorsque le taux d'IgG sérique est bien supérieur au point de passage de 10 g/L (Furman-Fratczak et al., 2011 ; Windeyer et al., 2014 ; Urie et al., 2018b). Ainsi, de nouveaux standards de réussite du TPI ont été développés. Cette standardisation réfère à une catégorisation basée sur quatre

paliers. En soit, un taux d'IgG supérieur à 25 g/L serait qualifié d'excellent, alors que des taux compris entre 18,0 - 24,9 ou 10,0 - 17,9 ou inférieurs à 10 g/L seraient qualifiés de bons, justes et pauvres respectivement (Lombard et al., 2020).

À l'échelle commerciale, l'évaluation du TPI selon la concentration en IgG sérique demande une prise de sang, ce qui selon les réalités du travail terrain peut s'avérer non optimal. Ainsi, évaluer la concentration en protéine totale d'un échantillon de colostrum à l'aide d'un réfractomètre est plus facile tout en étant moins invasif. Évidemment, avoir recours à une bonne gestion et à une vérification du TPI est nécessaire à la réduction des taux de mortalité et de morbidité sur les fermes. Adopter des protocoles de suivi aide aussi à l'amélioration du bien-être et de la santé des veaux (Lombard et al., 2020).

Le colostrum n'est pas seulement une source d'immunoglobulines. Effectivement, il contient aussi une quantité importante de nutriments et d'hormones de croissance étant tout aussi cruciale à la maximisation des performances de croissance (Hammon et al., 2020). Un lien existerait aussi entre l'administration d'un colostrum en quantité et qualité adéquate et la capacité des veaux à utiliser les éléments nutritifs supplémentaires provenant d'une augmentation des quantités d'aliments lactés en début de vie (Drackley, 2012). À ce niveau, certaines études ont pu démontrer que l'administration d'un colostrum de qualité affecte positivement les performances de croissance ainsi que la productivité en première lactation (Furman-Fratczak et al., 2011 ; DeNise et al., 1989).

1.1.3 Environnement

Selon chaque ferme laitière, l'environnement auquel les veaux sont exposés est variable et peut affecter leur santé (Barrington et al., 2002). La prolifération de bactéries ou de parasites, entraînée par un environnement négligé, peut venir perturber les conditions sanitaires du lieu où les génisses se développent. L'hygiène est un facteur déterminant aux performances et au développement des veaux. Toutefois, malgré son importance, ce facteur est fréquemment négligé (Barrington et al., 2002 ; Maunsell et Donovan, 2008). À cela s'ajoute que le fonctionnement de l'industrie laitière favorise généralement un risque élevé d'exposition aux

agents pathogènes. Évidemment, plusieurs types de gestion existent. Par exemple, il est toujours possible d'élever les veaux à l'extérieur. Ce type d'élevage présente généralement une charge bactérienne moindre en comparaison à un système d'élevage intérieur (Klein-Jöbstl et al., 2014). Toutefois, Klein-Jöbstl et al. (2014) rapporte que la surveillance des veaux est plus simple lorsque ceux-ci sont logés à l'intérieur.

Le type de logement, individuel ou en groupe, est reconnu comme pouvant affecter la charge bactérienne à laquelle les génisses sont exposées (Barrington et al., 2002). Selon Maunsell et Donovan (2008), un environnement malpropre, une densité animale élevée, une ventilation déficiente seraient tous des facteurs de risques participants à augmenter le niveau d'exposition aux pathogènes et conséquemment à accroître le risque de morbidité ou de maladies chez les veaux. Le statut sanitaire des génisses ainsi que leurs performances sont en étroite relation avec les pratiques d'élevages employées sur les fermes. Le regroupement des veaux pourrait aussi exercer des influences négatives sur leur niveau de santé. Effectivement, Maatje et al. (1993) ont rapporté que le risque d'infection est supérieur lorsque les veaux sont plus rapprochés les uns des autres.

Certains facteurs de gestion étant reliés au bien-être animal, comme le regroupement des veaux, les apprentissages sociaux ainsi que la facilitation sociale peuvent impacter positivement la consommation d'aliments solides et donc permettre l'obtention de meilleures performances de croissance (Bach et al., 2010 ; Khan et al., 2011a ; Costa et al., 2015). Selon l'étude de de Paula Vieira et al. (2010), les veaux logeant en paires auraient une ingestion d'aliments solides plus importante et plus précoce que ceux logés individuellement en période de pré-sevrage (93 vs. 59 ± 11 g/jour/veau, $P = 0{,}04$). À noter que plus le pairage est fait tôt, plus les impacts sur l'alimentation seraient importants, ce qui est en lien avec une augmentation des performances de croissance (Costa et al., 2015). Ces impacts auraient aussi un lien avec le développement du microbiote ruminal, sujet qui sera abordé dans la prochaine section de cette revue de littérature.

Finalement, il est reconnu que le logement en groupe combiné avec une alimentation adéquate permettrait d'atteindre un niveau de bien-être satisfaisant tout en ayant des impacts

économiques bénéfiques associés aux meilleures performances étant engendrées (Curtis et al., 2018). En fait, lorsqu'on prévoit de loger les génisses en groupes, il faut surtout s'assurer de respecter une densité animale adéquate afin de limiter la charge bactérienne à laquelle seraient exposées les génisses. À ce niveau, on recommande généralement de petits groupes d'environ dix animaux ou moins (CNSAE, 2009).

1.1.4 Alimentation

En contexte d'élevage laitier, l'alimentation prévue pour la relève se doit d'être bien réfléchie. En fait, en jeune âge, la capacité d'ingestion des génisses est faible alors que leurs besoins nutritionnels pour répondre à un haut taux de croissance sont élevés (Curtis et al., 2018). L'alimentation en période de pré-sevrage est donc une composante de gestion faisant l'objet de plusieurs interrogations. Afin de répondre aux besoins d'entretien en énergie métabolisable (EM), une quantité appréciable de solide du lait se doit d'être consommée. En fait, selon Drackley (2021) pour combler ses besoins d'entretien, une génisse devrait consommer l'équivalent de 0,107 Mcal/kg $PC^{0,75}$, et ce, en zone de thermoneutralité. Les quantités requises d'aliments sont variables en fonction du poids corporel et du GMQ. Le Tableau 1 présente d'ailleurs les besoins nutritionnels (énergie et protéine) ce qui peut aider à mieux prédire la croissance des génisses laitières. En fait, une fois les besoins d'entretiens comblés, la quantité de solides supplémentaires étant consommée servira à la croissance (Drackley, 2012). Évidemment, en période de pré-sevrage, l'ingestion de lait occupe la majeure partie de l'alimentation. Cependant, la quantité de matière sèche (MS) ingérée est aussi à considérer. Effectivement, ces composantes peuvent avoir un impact sur le taux de croissance, la santé, le développement du système digestif, le développement de la glande mammaire ainsi que la future capacité à produire du lait (Appleby et al., 2001 ; Anderson et al., 1982, Bar-Peled et al., 1997). Il est aussi important de retenir que le taux de conversion alimentaire est d'environ 50 % au cours des deux premiers mois de vie et que celui-ci diminue à environ 7 % avant le premier vêlage, d'où l'importance d'opter pour une alimentation pré-sevrage bien équilibrée (Bach et al., 2021). En ce sens, plusieurs études se sont intéressées aux différents types de diètes et à leurs possibles bénéfices et inconvénients. Le développement du rumen, essentiel aux ruminants, est favorisé par une alimentation bien

ajustée (Khan et al., 2011b). De plus, le type de diète vient aussi influencer la qualité du sevrage. Cette période peut impacter négativement le bien-être et les performances des animaux si la transition n'est pas bien planifiée (Steele et al., 2017).

Tableau 1. Présentation des besoins nutritionnels pour un veau de 50 kg sous conditions de thermoneutralité (basé sur les équations des Académies nationales des sciences, d'ingénierie et de médecine (NASEM)).

Gain de poids (kg/j)	Apport de matière sèche (kg/j)	Énergie métabolisable (Mcal/j)	Protéine brute (g/j)	Protéine brute (% MS)
0,2	0,56	2,56	102	18,0
0,4	0,71	3,29	155	22,4
0,6	0,88	4,05	209	26,6
0,8	1,05	4,85	262	27,4
1,0	1,23	5,66	315	28,6

Drackley, 2021

À la naissance, le microbiote ruminal des veaux n'est pas constitué de bactéries anaérobiques. Toutefois, à l'âge adulte, le rumen est constitué d'un écosystème microbien anaérobique complexe, comprenant plusieurs espèces de bactéries, de protozoaires et de champignons (Khan et al., 2016). Afin qu'une vache soit en mesure de convertir les aliments végétaux en nutriments qu'elle peut utiliser pour assurer ses besoins de maintenance et de production, il est primordial que le microbiote ruminal soit bien établi (Jami et al., 2013). L'établissement de cette flore microbienne reste toutefois un processus de longue durée qui est influencé par de multiples facteurs. On retient, entre autres, la génétique, l'âge, la régie (logement, manipulations, etc.) et les conditions alimentaires et ambiantes (Khan et al., 2016). Il est important de préciser qu'en condition d'élevage, le type d'aliments offert joue un rôle crucial dans l'acquisition de l'écosystème anaérobique du rumen, et ce, puisque les génisses ne sont généralement pas élevées par leur mère et n'acquièrent donc pas leurs bactéries anaérobiques (Fonty et al., 1988 ; Beharka et al., 1998). Par exemple, le développement du rumen serait négativement affecté par des diètes riches en amidon et faible en fibre. L'apport en fourrages chez les jeunes génisses serait bénéfique au développement du système digestif et à la qualité du comportement ruminal (Khan et al., 2016).

1.1.4.1 Aliment liquide

Une des pratiques de gestion variant le plus au cours de la période de pré-sevrage est le type et la quantité d'aliment lacté offert. Ces pratiques ont été reconnues comme ayant la possibilité d'affecter la santé ainsi que les performances des génisses (Shamay et al., 2005). Ellingsen et al. (2016) ont mentionné qu'il peut s'avérer nuisible au système digestif des veaux d'offrir des quantités de lait ou de lactoremplaceur trop importantes en un même repas. En fait, normalement un aliment liquide ingéré par un veau est bloqué par le réflexe œsophagien pour se rendre directement à l'abomasum sans passer par les préestomacs (Sjaastad et al., 2010). Cependant, l'ingestion d'une trop grande quantité de liquide dépassant la capacité de l'abomasum peut entraîner un reflux et provoquer une accumulation du liquide dans le réticulorumen (Van den Borne, 2004, cité par Ellingsen et al., 2016). Pour des veaux en très bas âge, cela ne devrait pas poser problème, cependant vers deux à trois semaines d'âge alors que le développement du rumen est entamé, une trop grande quantité, de lait ou de lactoremplaceur dans le rumen peut mener à certains problèmes. En fait, lorsqu'un aliment lacté se retrouve dans le rumen, le lactose peut être transformé en acide lactique et en d'autres types d'acides organiques ce qui peut occasionner un changement de pH au niveau du rumen. Le maintien du pH ruminal à un taux normal est très important pour la microflore du système digestif, sans quoi une altération pourrait causer des indigestions, de la diarrhée et même réduire le taux de croissance (Sjaastad et al., 2010). Aujourd'hui, on reconnaît qu'un jeune veau peut ingérer l'équivalent de 10 % de son poids corporel en un seul repas, et ce, sans conséquence sur son système digestif. Effectivement, le tractus gastro-intestinal a un certain degré de plasticité lui permettant de s'adapter a des volumes relativement important (Steele, 2019).

Auparavant, la recommandation quant à la quantité de lait à offrir aux génisses laitières s'élevait à 10 % du poids vif (PV) à la naissance par jour (Vasseur et al., 2012). Cette alimentation restrictive permettait d'atteindre les exigences d'entretien ainsi qu'un gain de poids minimal, et ce, sous condition de thermoneutralité. Il est pertinent de mentionner que ce type d'alimentation a été encouragée dans l'optique où elle stimulerait les veaux à consommer des aliments concentrés de façon hâtive et en plus grande quantité (NRC, 2001). La figure 1 présente d'ailleurs les résultats de l'étude de Bach et al. (2013) où la

consommation d'aliments solides a été mesurée en fonction des quantités d'aliment lacté offert. Il est possible d'observer que les génisses ayant reçu moins de liquide ont augmenté plus rapidement leur consommation d'aliments solides ($P < 0,05$; Figure 1). Il faut savoir que le fondement derrière ce choix est majoritairement économique, puisque les coûts de lactoremplaceur sont relativement élevés (Lorenz et al., 2011). De plus, ce type d'alimentation restrictive se voulait une méthode permettant de promouvoir le développement du rumen et de réduire l'âge au sevrage (NRC, 2001 ; Khan et al., 2011b).

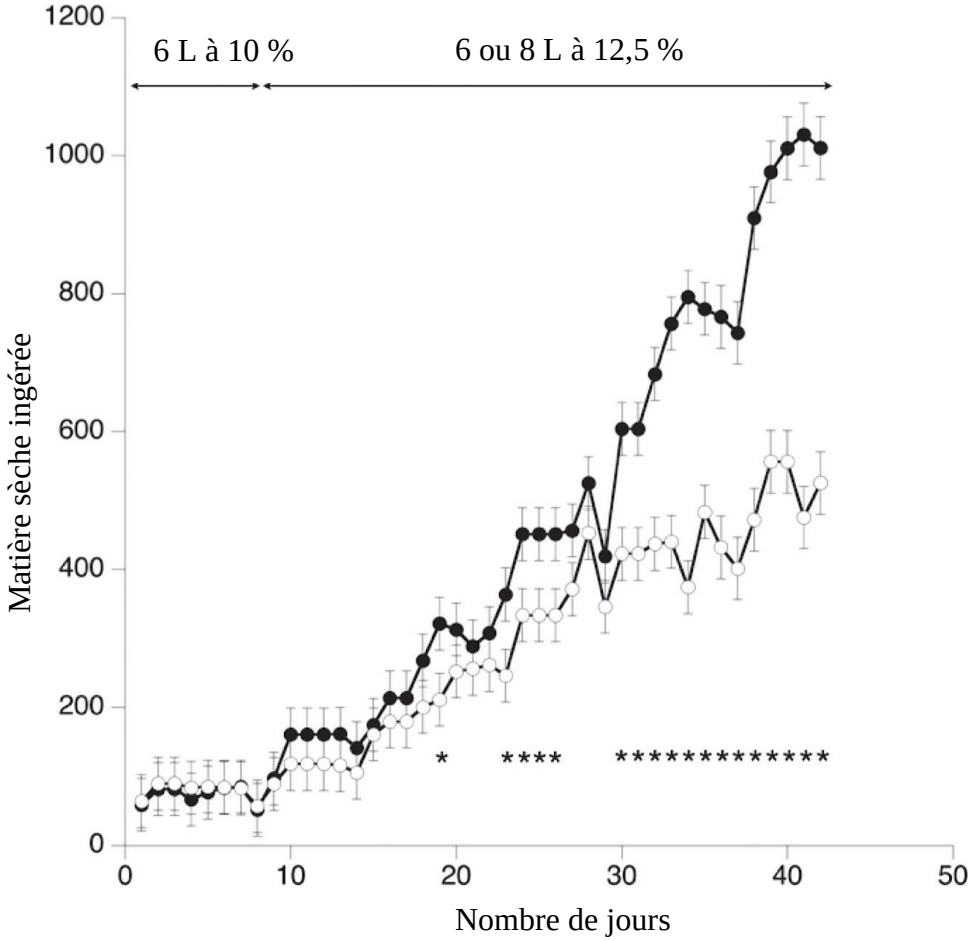


Figure 1. Évolution de la consommation d'aliments secs au cours des 42 premiers jours de l'étude en fonction du niveau de lactoremplaceur (LR). Les cercles vides indiquent 8 L de LR/j (HLR) offert à un taux de dilution de 12,5 % et les cercles pleins représentent 6 L de LR/j (BLR) à un taux de dilution de 10 %. Les astérisques indiquent les jours d'étude où la consommation d'aliments secs différait ($P < 0,05$) entre les veaux BLR et HLR. Les barres d'erreur représentent la SE à chaque instant. – Tirée de Bach et al. (2013).

En se fiant aux origines des bovins laitiers, il est possible d'observer que le comportement alimentaire des veaux est influencé par les signaux sociaux de leur mère (von Keyserlingk et Weary, 2007). Ainsi, au cours de la première semaine de vie, les veaux en situation naturelle (nourris par leur mère) exprimeraient leur comportement de tétées de 6 à 12 fois par jour pour une durée approximative de 10 minutes par tétée (Reinhardt et Reinhardt, 1981). Selon plusieurs études, les veaux ayant libre accès à un aliment lacté profiteraient d'une prise de poids plus rapide et seraient en mesure de bénéficier de plus longues périodes de repos que les veaux sous une alimentation restreinte. À noter que le niveau de vocalisation serait aussi moins important pour les génisses profitant d'une alimentation lactée à volonté (Jasper et al., 2008 ; de Paula Vieira et al., 2008 ; Borderas et al., 2009). Ainsi, une alimentation lactée restrictive fixée à 10 % du PV à la naissance en comparaison à un programme d'alimentation qualifié d'intensif fixée, par exemple, à 20 % du PV à la naissance, engendrait une baisse de performances. Ici, il est important de retenir qu'un régime restrictif, en termes de quantité d'aliment lacté offert, permettrait aux veaux d'atteindre seulement de 20 à 30 % de leur croissance biologique dite normale (Appleby et al., 2001).

Certaines inquiétudes par rapport à l'alimentation à volonté ont déjà été relevées quant à leurs possibles liens avec l'occurrence de diarrhée. Toutefois, ces inquiétudes ont été révoquées puisque la diarrhée nutritionnelle serait plutôt liée à une mauvaise qualité des aliments liquides ou à une régie déficiente (Diaz et al., 2001 ; Jasper et Weary, 2002 ; Nonnecke et al., 2003 ; Bartlett et al., 2006). Il reste important de mentionner qu'une consommation d'aliment lacté à volonté au cours de la période de pré-sevrage pourrait réduire la consommation de solides totaux (Appleby et al., 2001 ; Hammon et al., 2002). Quant à elle, la recommandation canadienne actuellement en vigueur stipule que les génisses devraient recevoir au moins 20 % de leur PV à la naissance en lait ou en lactoremplaceur.

Au niveau de la méthode d'administration, il est reconnu que le comportement de tétée doit être privilégié, car celui-ci permet une ingestion plus lente en comparaison à une alimentation lactée offerte par le biais d'un seau ouvert (Appleby et al., 2001). Lorsque les veaux ne sont pas en mesure d'exprimer ce comportement naturel leur capacité de digestion peut être affectée, notamment car l'ingestion est modifiée par un débit de consommation trop rapide.

Un débit d'ingestion accéléré peut donc mener à un volume ingéré trop important (Appleby et al., 2001). De plus, cela peut mener au développement de certaines stéréotypies, comme téter les compères (Appleby et al., 2001 ; de Passillé, 2001).

Plusieurs types d'aliments lactés peuvent être offerts à des veaux, notamment du lait cru, du lait pasteurisé (Garcia et al., 2021) ou encore du lactoremplaceur. À chaque type d'aliment lacté peut être associés des avantages et des inconvénients. De façon générale, on reconnaît au lait (cru ou pasteurisé) une teneur plus élevée en énergie et une meilleure balance au niveau des nutriments. Le lait cru est parfois critiqué étant donné les risques plus élevés de transmission de pathogènes ou de maladies qu'il occasionne. Toutefois, ces risques peuvent être contrôlés par le processus de pasteurisation et c'est pourquoi son utilisation peut devenir intéressante. D'ailleurs, dans l'étude de Godden et al. (2005) les veaux ayant reçu du lait pasteurisé ont connu un meilleur GMQ ($P < 0{,}001$), un poids plus élevé au sevrage ($P < 0{,}001$) et un taux de morbidité et de mortalité plus faible ($P < 0{,}001$) que les veaux recevants du lactoremplaceur. Toutefois, le lactoremplaceur reste l'aliment lacté le plus fréquemment offert sur les fermes laitières. Cette pratique peut s'expliquer par le fait que pasteuriser le lait à la ferme demande des installations supplémentaires, ce qui n'est pas toujours possible. Drackley (2008) mentionne qu'un aliment lacté dont la teneur en protéine serait plus importante que la teneur en énergie serait bénéfique pour les veaux, ce qui est généralement le cas d'un lactoremplaceur. D'ailleurs, les besoins en protéines des veaux sont relatifs à leur taux de croissance. De façon générale, 188 g de protéine serait déposé pour chaque kilogramme de poids corporel. En d'autres termes, un veau aurait besoin d'en moyenne 250 à 280 g de protéine brute dans son apport en aliment lacté (Drackley, 2008). Ces facteurs, combinés avec l'aspect économique, viennent expliquer l'utilisation courante du lactoremplaceur par les producteurs laitiers (Selim et Cullor., 1997, cité par Klein-Jöbstl et al., 2014). À titre informatif, aux États-Unis, des enquêtes récemment réalisées ont montré que 40,1 % des veaux seraient nourris avec du lait entier ou du lait de rejet, 34,8 % avec du lactoremplaceur et 25,1 % avec un mélange de ces types (Urie et al., 2018a).

1.1.4.2 Aliments solides

Dans des conditions naturelles, un veau commencera à brouter vers l'âge de trois semaines (Khan et al., 2011b). Le type et la quantité des aliments solides consommés ont la capacité d'influencer le développement du rumen (Khan et al., 2016). En guise d'exemple, offrir du foin d'herbe haché viendrait stabiliser le pH ruminal chez les jeunes veaux en plus d'augmenter la consommation des aliments solides au cours du sevrage (Khan et al., 2011a ; Castells et al., 2013). De façon générale, les premiers herbages consommés par les génisses devraient être riches en sucres et en fructosanes et pauvres en protéines dégradables afin d'assurer une bonne stimulation du développement du rumen. En fait, ces composantes favorisent la production de butyrate et de propionate qui jouent un rôle important dans la formation des papilles du rumen (Tamate et al., 1962). La stimulation de la production d'acides gras volatiles serait un des principaux moteurs du développement du rumen (Quigley et al., 1991).

Pour ce qui est de la consommation de concentrés, les études suggèrent qu'elle contribuerait au développement du microbiote, ce qui est nécessaire à la fermentation efficace des polysaccharides (Khan et al., 2016). Une alimentation solide se doit d'être intégrée graduellement dans le programme alimentaire des génisses. Effectivement, le système digestif doit avoir le temps de s'adapter (Bach, 2021). De plus, à l'approche de la puberté, il est important d'offrir une ration riche en protéine et contenant un niveau d'énergie modéré, et ce, dans l'optique d'éviter un engraissement excessif qui pourrait nuire au développement de la glande mammaire (Drackley, 2001). Par exemple, Dobos et al. (2000) ont pu observer que le taux d'inclusion de protéine brute et de protéine non dégradable au rumen dans les rations de génisses de 5 à 10 mois d'âge aurait un impact sur le GMQ et les performances laitières, et ce, pour un même taux d'énergie métabolisable (11 MJ/kg MS). Effectivement, les génisses ayant reçu une alimentation dont le taux de protéine brute était de 142 g/kg MS (270 g protéine non dégradable/kg protéine brute ; diète 1) ont connu un GMQ moins élevé que celles nourries à un taux de 182 g/kg MS (267 g protéine non dégradable/kg protéine brute ; diète 2) ou 183 g protéine brute/kg MS (133 g protéine non dégradable/kg protéine brute ; diète 3). Les GMQ étaient de 918 g/jour vs 990 et 952 g/jour pour les génisses recevant la diète 1, 2 et 3, respectivement. De plus, les génisses de la diète 2 ont produit 0,08 kg de

protéine du lait/jour supplémentaire que celles suivant la diète 1 et 3 (Dobos et al., 2000). Ces résultats démontrent comment les taux d'inclusion de protéine brute et d'énergie peuvent avoir un impact important sur le développement corporel, mais aussi sur les performances de production une fois la vache en lactation.

1.2. Impact des quantités d'aliments lactés offertes sur le développement des génisses

1.2.1 Gain moyen quotidien

Le GMQ est une mesure représentative de la croissance et de la santé des génisses puisque ces dernières sont influencées par plusieurs facteurs de régie (Shivley et al., 2018). De plus, un meilleur GMQ améliorerait le développement gastro-intestinal, et ce, à l'atteinte de l'âge au sevrage (Eckert et al., 2015). La quantité d'aliment lacté offerte serait un critère très important quant à son influence sur le développement des génisses, puisque le GMQ est largement influencé par l'alimentation lactée offerte. Comme mentionné préalablement, une alimentation lactée restrictive (10 % du PV à la naissance) engendrerait des conséquences négatives sur les performances des génisses laitières ne leur permettant pas d'exprimer leur plein potentiel. Ainsi, il est reconnu que les régimes alimentaires intensifiés permettraient aux génisses d'améliorer leur niveau de bien-être et leur résistance aux maladies. Par exemple, dans une étude de Appleby et al., (2001) les épisodes de diarrhées de 14 à 21 jours de vie des veaux ayant accès à une quantité d'aliment lacté *ad libitum* auraient été significativement moins élevés que chez les veaux sous le traitement restreint (5 % PV ; $P = 0{,}01$). À noter que dans cette étude, la technique d'alimentation (seau vs tétine) différait aussi selon les traitements, ce qui peut avoir influencé les résultats.

Un veau laissé avec sa mère ou nourri à volonté peut ingérer plus de 20 % de son PV à la naissance, ce qui permettrait d'atteindre un GMQ de 1 kg/jour (Flower et Weary, 2001). Effectivement, le libre accès à un aliment lacté améliorerait le GMQ de l'ordre de 63 % en comparaison à un régime restrictif. Toutefois, offrir des quantités plus importantes d'aliment lacté peut potentiellement affecter, sur le long terme, cette différence au niveau des gains de

poids puisqu'une consommation moindre d'aliments concentrés est généralement observée dans ce type de régime (Terré et al., 2007). En fait, plusieurs études ont observé que les génisses recevant des quantités importantes de lait ou de lactoremplaceur avaient tendance à consommer moins de nourriture solide au cours de la période de pré-sevrage (Hodgson, 1971 ; Roy et al., 1971 ; Leaver et Yarrow, 1972). Cette différence de consommation entraînerait possiblement des gains de poids moindre en période de post-sevrage (Dalzell et Allen, 1970, cité par Huber et al., 1984). Cette réduction considérable du GMQ pourrait annuler l'avantage de poids des veaux sous diète intensive (Le Du et al., 1978, cité par Huber et al., 1984). À ce niveau, Huber et al. (1984) ont réalisé une étude portant sur l'influence de différents régimes d'aliment lacté sur la performance, la santé et les capacités d'absorption des veaux. Ils ont pu noter une consommation moindre de moulée de démarrage chez les veaux consommant plus de lait en comparaison aux veaux du traitement témoin ($P < 0,05$). À noter que la consommation totale de matière sèche n'a toutefois pas été significativement différente entre les deux traitements ($P > 0,05$).

D'un autre côté, Appleby et al. (2001) ont plutôt observé que les génisses ingérant plus de lactoremplaceur (*ad libitum*) en période de pré-sevrage obtiendraient des gains de poids 2,4 fois plus élevé que les génisses suivant un régime restreint (5 % du PV à la naissance), et ce, au cours des deux premières semaines de vie. Pour les deux semaines suivantes, une prise de poids 1,4 fois plus élevés pour les génisses suivant un régime *ad libitum* a été observée. Au final, ces différences auraient mené à un poids moyen 15 % plus important à quatre semaines d'âge pour les génisses recevant des quantités plus importantes de lactoremplaceur (Appleby et al., 2001).

Jasper et Weary (2002) ont aussi obtenu des résultats similaires lors d'une étude s'intéressant aux impacts d'une alimentation lactée *ad libitum* sur les veaux laitiers. Effectivement, ils ont pu démontrer que même si les génisses sous diète *ad libitum* avaient un apport alimentaire solide moindre ($P = 0,02$), le GMQ pré-sevrage reste nettement plus important que celui des génisses sous diète restrictive (10 % du PV à la naissance). En réalité, au 35^{e} jour de vie, une différence de 10,5 kg était notable entre les deux traitements de l'étude (Jasper et Weary, 2002). Cette différence au niveau des GMQ serait attribuable à l'apport plus élevé en

lactoremplaceur, l'apport journalier ayant été significativement plus élevé pour les génisses suivant un régime *ad libitum*. De plus, Jasper et Weary (2002) mentionnent qu'à la suite du sevrage, soit à 42 jours d'âge, le GMQ de toutes les génisses de l'étude s'est vu réduit. En d'autres termes, l'avantage de gain de poids des génisses sous régime *ad libitum* aurait persisté jusqu'à la fin de l'étude, soit à 63 jours d'âge (Jasper et Weary, 2002).

Une autre étude, celle de Korst et al. (2017) aurait aussi mis en évidence des résultats similaires au niveau du GMQ. En fait, pour les 27 premiers jours de vie, le GMQ des veaux nourris *ad libitum* a été 1,58 fois supérieur à celui des veaux sous traitement restreint fixé à 5 % du PV à la naissance ($P < 0,05$). Ici, il est important de mentionner que les veaux de cette étude recevaient la quantité d'aliment lacté correspondant à leur traitement jusqu'à 27 jours d'âge. Par la suite, de 28 à 55 jours d'âge, les veaux passaient tous au traitement restreint puis ont été graduellement sevrés jusqu'à l'atteinte de 69 jours d'âge. De 27 à 70 jours d'âge, le GMQ tendait à être supérieur chez les génisses ayant suivi le régime *ad libitum* en comparaison à celles du régime restrictif ($P < 0,10$). De plus, le fait que cette étude soit séparée en trois phases distinctes, la première correspondant à la durée des traitements (2 à 27 jours d'âge), la deuxième de la fin des traitements jusqu'au sevrage (28 à 69 jours d'âge), puis la troisième de 70 à 110 jours d'âge a permis de mettre en évidence l'existence d'une période critique au développement, soit la première phase (Figure 2). Cette même étude a aussi mis en évidence que le GMQ des génisses a d'abord été plus important pour celles sous le traitement *ad libitum* de 2 à 27 jours d'âge, puis plus important pour les génisses sous le régime restreint (5 % du poids à la naissance) au cours de la deuxième phase (Figure 2).

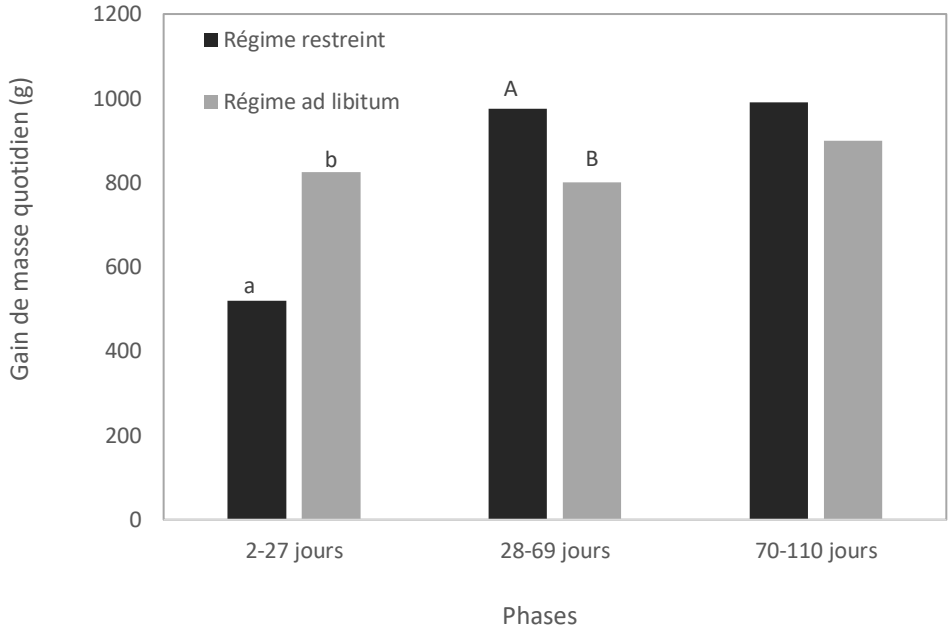


Figure 4 : Gain de masse quotidien de la naissance jusqu'à 110 jours de vie. Des lettres minuscules différentes signifient une différence significative (P < 0,001). Des lettres majuscules différentes signifient une tendance (P < 0,10). Adapté de Korst et al. (2017)

Cette inversion du GMQ pourrait être attribuable à une croissance compensatrice, puisque lorsque la capacité d'ingestion d'aliments solides des génisses vient compenser pour une restriction imposée par le régime restreint, celles-ci pourraient être en mesure de rattraper leur retard de croissance (Bach, 2012). La croissance compensatrice est le processus biologique où le taux de croissance d'un animal dont l'alimentation a été restreinte est accélérée lorsque les besoins alimentaires sont enfin comblés par son alimentation (Hornick et al., 2000). Toutefois, cette croissance compensatrice permet rarement de compenser entièrement le retard encouru par une restriction alimentaire (Hornick et al., 2000). Pour revenir à l'étude de Korst et al. (2017), aucune différence significative au niveau des GMQ n'a été observée au cours de la dernière phase de l'étude. Ainsi, il serait primordial pour les éleveurs de s'assurer de bien valoriser la prise de poids encourue par les régimes lactés au cours de cette période, et ce, afin que les génisses soient en mesure d'exprimer leur réel potentiel de développement.

En s'intéressant maintenant aux bénéfices prolongés des régimes intensifiés, Moallem et al. (2010) stipulent que l'augmentation du GMQ au cours des premiers deux mois de vie amènerait un poids corporel plus élevé à 24 mois d'âge (P = 0,04). À noter qu'en période de

post-sevrage, les génisses devraient recevoir une alimentation permettant de répondre à leur besoin de croissance, mais sans provoquer l'engraissement.

Finalement, en période de pré-sevrage, les résultats des différentes études montrent qu'une restriction au niveau de la quantité de lactoremplaceur offerte ne permettrait pas aux génisses d'atteindre leur plein potentiel (Appleby et al., 2001 ; Jasper et Weary, 2002 ; Korst et al., 2017). Pour ce qui est des régimes *ad libitum*, il est vrai que le GMQ obtenu serait généralement supérieur, cependant cet avantage ne serait pas nécessairement observable sur le long terme. De plus, l'amplitude de la différence obtenue au niveau des gains de poids en relation avec l'offre alimentaire (restreint vs. *ad libitum*) semble être influencé par l'écart entre les volumes des traitements comparatifs. Korst et al. (2017) insistent tout de même sur l'existence de la période critique où les gains sont les meilleurs. Ainsi, il est primordial de travailler à favoriser le bon développement des génisses dans les périodes où les résultats sont les plus significatifs. Effectivement, cela permettrait que les avantages des régimes *ad libitum* soient toujours perceptibles à l'atteinte de la puberté ainsi que sur la vie productive des vaches laitières.

1.2.2 Mesures corporelles

Dans l'optique d'optimiser la future production laitière, il est recommandé d'assurer une croissance équilibrée aux génisses de remplacement. C'est pourquoi il est pertinent de s'intéresser aux mesures corporelles (circonférence thoracique, hauteur au garrot, hauteur aux hanches et largeur aux hanches), puisqu'elles sont un bon indicateur de la croissance squelettique. La supervision du développement squelettique est importante afin de ne pas engendrer de génisses trop grasses ce qui pourrait mener à une diminution de la future production laitière (Sejrsen et al., 1982 ; Radcliff et al., 2000 ; Drackley, 2008). Les bénéfices rapportés des régimes alimentaires lactés permettant l'obtention d'un GMQ élevé seraient, justement, que ceux-ci permettraient de ne pas augmenter la déposition de gras (Bascom et al., 2007) et d'augmenter la stature en période de pré-sevrage (Brown et al., 2005 ; Cowles et al., 2006).

Les études rapportent généralement l'obtention de mesures corporelles plus importantes lorsque les génisses ont accès à des volumes supérieurs de lait ou de lactoremplaceur en comparaison à celles suivant un régime restreint (Rincker et al., 2011 ; Yavuz et al., 2015 ; Curtis et al., 2018). Ainsi, Curtis et al. (2018) qui se sont intéressés aux impacts de l'alimentation lactée sur le développement squelettique ont observé des impacts positifs de l'augmentation des quantités de lactoremplaceur offert en période pré-sevrage. Les génisses ayant suivi un plan d'alimentation *ad libitum* auraient une circonférence thoracique et une hauteur au garrot significativement supérieure en comparaison à celles sous régime restreint (5 L/j jusqu'à 21 jours d'âge, puis 6 L/j de 21 à 56 jours), et ce, de 28 à 42 jours d'âge. En contrepartie, il a été observé qu'au cours de leurs 28 premiers jours de vie, les génisses sous le traitement restreint auraient vu leur état de chair diminuer tandis que celles sous *ad libitum* l'auraient plutôt amélioré ($P < 0{,}001$). Ces observations évoquent que la croissance squelettique serait priorisée aux dépens de la croissance des tissus mous pendant les 21 premiers jours de vie des génisses (Curtis et al., 2018). Autrement dit, les données de cette étude suggèrent que les génisses sous le traitement restreint auraient assuré leur croissance squelettique pré-sevrage par le catabolisme de leurs tissus corporels. Toujours selon l'étude de Curtis et al. (2018) aucune différence significative pour la hauteur au garrot à l'atteinte de la puberté n'a été observée. Suivant le même ordre d'idée, Yavuz et al. (2015) ont rapporté des résultats similaires où des différences significatives au niveau des mesures corporelles ont été observées seulement à 70 jours d'âge. Ainsi, la hauteur au garrot et la circonférence thoracique des génisses ayant reçu 7,5 L/j ont été significativement supérieures en comparaison aux génisses ayant reçu 3,5 L/j d'aliment lacté pour des sevrages respectifs à 56 et 49 jours d'âge (91,8 cm vs 88,9 cm, $P < 0{,}05$; 102,2 cm vs 97,9 cm, $P < 0{,}05$).

De leur côté, Rincker et al. (2011) ont observé des différences significatives au niveau de la hauteur au garrot et de la largeur aux hanches au sevrage (42 jours d'âge), ces mesures étant plus importantes pour les génisses recevant l'équivalent de 17 % de leur PV à la naissance en aliment lacté en comparaison à celles recevant 10 % (86,3 vs 83,6 cm, $P < 0{,}01$; 65,0 vs 62,3 cm, $P < 0{,}01$). À noter que ces différences ont été maintenues jusqu'à peu après le sevrage. Toujours selon cette étude, la hauteur au garrot au premier vêlage n'a pas été significativement différente entre les traitements (10 % vs 17 % du PV).

Dans une étude s'intéressant aux impacts d'un GMQ élevé sur le développement squelettique, Shamey et al. (2005) ont démontré qu'à 60 jours d'âge, les mesures corporelles des veaux ayant ingéré 9,8 % plus de MS, 39,7 % plus de protéines brutes et 52,4 % plus d'énergie métabolisable ont toutes été significativement supérieures. Ainsi, l'étude rapporte des différences de 2,6 cm, 1,5 cm et de 6,8 cm pour la hauteur au garrot, la largeur aux hanches et la circonférence thoracique en faveur des génisses ayant consommé davantage. Toutefois, aucune différence significative entre les traitements n'a été observée au vêlage.

En bref, il est évident qu'étant donné l'incapacité des jeunes ruminants à ingérer une quantité suffisante d'aliments solides pour satisfaire leurs besoins (système digestif immature), offrir une quantité d'aliment lacté permettant de combler leurs besoins nutritionnels est crucial à leur développement (Drackley, 2012). De plus, bien que certaines différences significatives soient présentes au niveau des mesures corporelles, les observations faites sont souvent représentatives d'une différence très élevée entre les volumes d'aliment lacté offert. Les études permettant de comparer les impacts engendrés par un programme d'alimentation lacté à volonté à celui actuellement recommandé pour les génisses sont, pour l'instant, insuffisantes.

1.2.2 Sevrage

Le sevrage est une période pouvant causer un grand stress aux animaux (Weary et al., 2008). Si cette étape est mal effectuée, le stress engendré pourrait amener une diminution des défenses immunitaires des veaux (Hulbert et al., 2011) et causer des maladies ayant la capacité de compromettre leur croissance (Berge et al., 2009b). On reconnaît plusieurs méthodes de sevrage, chacune d'entre elles ayant la capacité d'influencer le développement des génisses. Ici, lorsqu'on parle de développement, c'est tant au niveau des performances de croissance que du développement de leur système digestif. Une transition bien effectuée permet aux génisses d'être en mesure de consommer suffisamment d'aliments pour combler leur besoin de croissance, c'est pourquoi la transition se doit d'être réalisée en douceur. Il est recommandé que les génisses consomment au moins 1,5 kg/j, voir idéalement 2,0 kg/j

d'aliments solides avant d'arrêter complètement la phase d'aliment lacté (Pellerin et al., 2010 ; Drackley, 2012). En fait, cela permettra d'optimiser le développement physique et métabolique parallèlement avec le développement du comportement de rumination (Khan et al., 2016).

Conventionnellement, la majorité des programmes de sevrage étaient basé sur l'âge des génisses (Roth et al., 2009b) et était réalisé relativement tôt dans la vie de l'animal. En guise d'exemple, selon Vasseur et al. (2010), l'âge médian au sevrage au Canada s'élèverait à 49 jours d'âge. Toutefois, si l'on garde en tête l'importance du niveau de consommation d'aliment solide au moment du sevrage, les études montrent beaucoup de variabilité, ce qui rend les programmes basés exclusivement sur l'atteinte d'un certain âge parfois non justifié (Benetton et al., 2019). Effectivement, Heinrichs et Heinrichs (2011) ont rapporté que sur 795 génisses, la moyenne d'âge ou la consommation de moulée de démarrage atteignait 0,91 kg était de 70,5 ± 19,8 jours. De leur côté, de Passillé et Rushen (2016) ont rapporté que pour une alimentation lactée fixée à 12 L/j, les génisses commençaient à consommer 1,4 kg/j de moulée de démarrage entre 58 et 94 jours d'âge.

Les génisses recevant moins d'aliment lacté auraient tendance à débuter leur consommation d'aliment solide plus jeune, mais la variation reste tout de même importante. Effectivement, pour un régime fixé à 6 L/j, les génisses auraient besoin de 45 à 98 jours avant de consommer 2 kg/j de moulée de démarrage (Roth et al., 2009b). Ainsi, l'âge médian au sevrage de 49 jours d'âge ne répond certainement pas aux besoins de la majorité. De plus, dans l'étude de Roth et al. (2009b), s'intéressant à l'impact de différents types de sevrage sur le statut de santé et le développement du rumen chez les génisses laitières, il a été observé que l'âge moyen ou la consommation de concentré est suffisante pour mettre fin à la période d'aliment lacté serait de 76 jours. Le programme de sevrage dépendant du niveau de consommation d'aliment concentré débutait lorsque la consommation personnelle des génisses s'élevait à plus de 0,7 kg/j sur 4 jours consécutifs, puis se terminait dès que celles-ci consommaient plus de 2 kg/j d'aliment concentré sur 4 jours consécutifs (Figure 3). À noter que l'âge à la fin de la période d'alimentation lactée s'est étendu de 45 à 98 jours d'âge, ce qui démontre bien l'intérêt d'un sevrage individualisé (Roth et al., 2009b). En comparaison, toujours selon cette

même étude, le sevrage des génisses ayant été effectué indépendamment de la consommation de concentré, a été fixé à 84 jours d'âge ce qui représente une différence significative en comparaison à l'âge moyen au sevrage des génisses suivant le programme basé sur la consommation de concentré (P = 0,004). Ainsi, il est possible de conclure que certaines génisses ne consommaient probablement pas une quantité suffisante d'aliment concentré pour combler leurs besoins, tandis que d'autres auraient pu être sevrées plus tôt et ainsi amener de possibles économies. À cela s'ajoute que même si le sevrage basé sur la consommation d'aliment concentré s'est effectué plus tôt, aucun impact négatif n'a été observé au niveau des gains de poids ou du développement du rumen en comparaison aux génisses sevrées plus tard (Roth et al., 2009b). Ici, il est pertinent de spécifier qu'un sevrage à 84 jours est qualifié de sevrage tardif. Lorsque les génisses ingèrent de grandes quantités d'aliment lacté (> 20 % de leur PV à la naissance), les programmes de sevrage tardif peuvent permettre d'obtenir de meilleurs GMQ en période de pré-sevrage (Eckert et al., 2015).

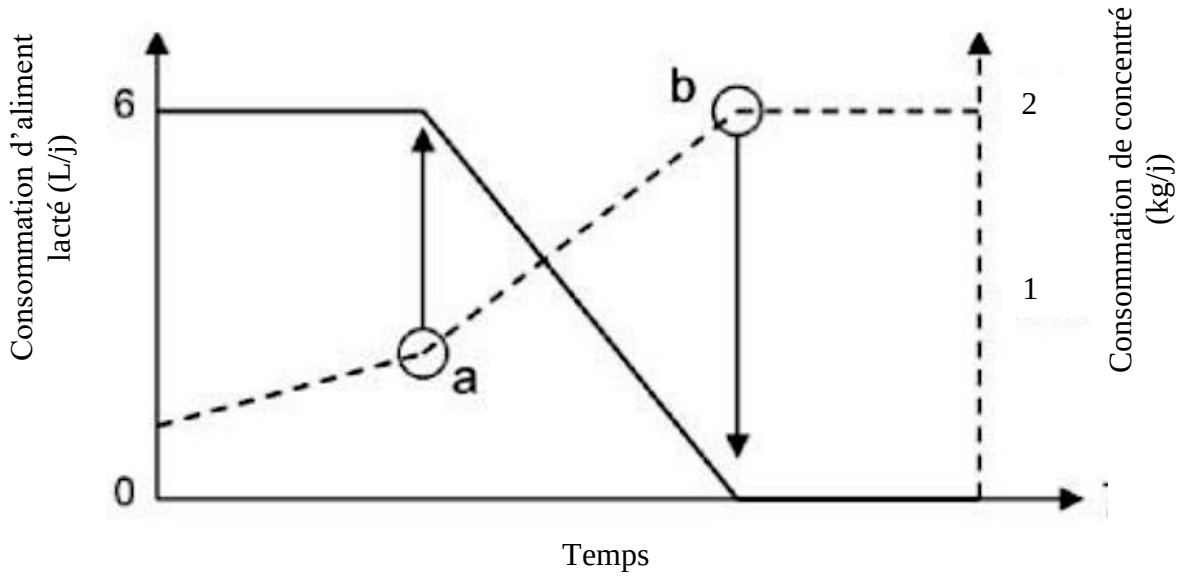


Figure 14. Méthode de sevrage basée sur la consommation de concentré. La ligne pleine représente la consommation d'aliment lacté. La ligne pointillée représente la consommation de concentré a) Consommation quotidienne de 0,7 kg de concentré sur une période de 4 jours consécutifs. b) Consommation quotidienne de 2 kg concentrés sur une période de 4 jours consécutifs qui définit la fin du sevrage – Adapté de Roth et al., 2009b

Les différences génétiques individuelles pourraient faire varier la disposition du développement ruminale de chacune des génisses. De plus, l'incidence de maladie devrait

être considérée dans l'établissement des programmes de sevrage, et ce, étant donné que le développement du système digestif est ralenti lors d'une infection (Radostits, 2001). Aussi, sur la majorité des fermes laitières, il est possible d'observer une diminution du GMQ à la suite du sevrage. Selon Kirchgessner (2004), cela serait dû à une ingestion insuffisante de matière sèche lors de l'arrêt de l'apport en lait ou en lactoremplaceur. Cette observation met en évidence le fait que les programmes de sevrage dit conventionnel ne répondraient pas aux besoins des génisses les plus performantes, mais plutôt à ceux sur un niveau médian (Roth et al., 2009b). Ainsi, afin de répondre de façon spécifique aux besoins de chacune des génisses, il est généralement recommandé d'opter pour un programme de sevrage basé sur la consommation de l'aliment concentré (Roth et al., 2009b) ou pour un sevrage graduel par diminution de la quantité d'aliment lacté offerts (Khan et al., 2007). L'objectif primaire de ce type de programme de sevrage est d'assurer, pour chacune des génisses, une consommation suffisante d'aliments solides avant de retirer complètement l'apport en lait ou en lactoremplaceur (Roth et al., 2009b).

L'incidence d'épisode de maladie diminuerait significativement avec l'augmentation de la consommation de moulée et de foin (Roth et al., 2009b). D'ailleurs, Bach et al. (2010) mentionnent qu'un sevrage graduel stimule l'ingestion d'aliment solide. Roth et al. (2008) ont pu observer une diminution du comportement de tétage redirigé sur les compères et une augmentation du GMQ lorsque le programme de sevrage était basé sur la consommation de l'aliment concentré en comparaison à un sevrage conventionnel.

Une autre étude portant aussi sur les impacts de ces deux mêmes programmes de sevrage a observé une différence numérique au niveau des GMQ, soit de $0{,}88 \pm 0{,}03$ kg/j et $0{,}87$ kg $\pm 0{,}04$ kg/j pour les génisses sous-programme de sevrage dépendant de la consommation de l'aliment concentré et celles suivant un programme conventionnel, respectivement (Roth et al., 2009b). Ainsi, aucune différence significative n'avait été observée en lien avec le programme de sevrage suivi. Néanmoins, il reste que l'ingestion d'aliments solides en bonne quantité est favorable au déroulement des programmes de sevrage, et ce, afin d'assurer un développement corporel et digestif optimal. En bref, plus on augmente les quantités d'aliment lacté reçues par les génisses, plus le rôle de la transition est

important afin de s'assurer que les génisses ingèrent suffisamment d'aliments solides au moment du sevrage (Drackley, 2012).

1.2.3 Performances de reproduction

Dans les études précédentes, on reconnaît que l'atteinte de la puberté et donc de la période optimale pour saillir les génisses serait guidée par le poids ainsi que la composition corporelle plutôt que l'atteinte d'un certain âge (Zanton et Heinrichs, 2005 ; Moallem et al., 2010) Plusieurs composantes sont reliées aux performances en reproduction, comme le poids à la première saillie ou l'âge au premier vêlage et dont il sera question dans cette section.

1.2.3.2 Poids à la première saillie

Il est reconnu qu'il faut viser l'atteinte de 55 % du poids mature de l'animal afin de procéder à la première saillie (Curtis et al., 2018). Il a d'ailleurs été démontré que le programme de nutrition affecte l'âge à la puberté. Concrètement, selon l'étude de Meyer et al. (2006), les génisses ayant un GMQ de 0,94 kg/j au cours de la période pré-sevrage atteindraient leur puberté plus rapidement que celle ayant eu un GMQ de 0,64 kg/j ($P < 0,01$). Dans une autre étude, les génisses ayant suivi un régime standard pour l'obtention d'un GMQ de 0,70 kg/j auraient atteint la puberté plus tard que celles suivant un régime alimentaire accéléré avec une cible de gain de poids de 1,0 kg/j (Lammers et al., 1999). Ainsi, les génisses ayant accès à un programme alimentaire intensif ont pu atteindre leur puberté 108 jours plus tôt que celles sous le traitement restreint, et ce sans que le poids à la puberté ne soit significativement différent (Meyer et al., 2006). En fait, le GMQ serait accentué par une augmentation de l'ingestion de nutriments.

De plus, comme mentionné préalablement, selon Moallem et al. (2010), l'augmentation du GMQ au cours des deux premiers mois de vie des génisses entraînerait un poids corporel significativement plus important à 24 mois d'âge. L'atteinte de la puberté, donc l'atteinte de l'âge à la conception étant fortement reliés au poids, il devient sous-entendu qu'un lien existe entre les performances en reproduction et le GMQ. La variabilité des taux de croissance pré-sevrage et post-sevrage affecterait grandement l'âge auquel les génisses sont aptes à concevoir pour la première fois (Ettema et Santos, 2004). Selon l'étude de López et al.

(2018), les génisses ayant un poids au sevrage plus important auraient aussi de meilleures performances en reproduction. Ainsi, toujours dans cette étude, l'âge à la première saillie a été moins élevé ($P < 0,01$) pour les génisses ayant un poids au sevrage plus important en comparaison à celles ayant un poids au sevrage moindre. Les génisses les plus pesantes auraient aussi connu une saillie fécondante plus tôt que les autres ($P < 0,05$).

De cette façon, l'impact positif d'une alimentation lactée intensifiée en période de pré-sevrage sur l'âge à la première saillie est concevable. Non seulement celle-ci permettrait d'atteindre l'âge à la conception plus rapidement, mais cela pourrait aussi avoir un impact sur les autres performances en reproduction, comme sur l'âge au premier vêlage. Ces bénéfices pourraient avoir un impact réellement positif sur le rendement technico-économique des fermes laitières (Cooke et al., 2013).

1.2.3.3 Âge au premier vêlage

L'âge au premier vêlage est reconnu être une composante de haute importance en élevage laitier. Effectivement, cela affecte la fertilité ainsi que la productivité des futures vaches laitières (Cooke et al., 2013). En plus, réduire l'âge au premier vêlage permettrait de diminuer les coûts d'élevage (López et al., 2018). Auparavant, on visait un premier vêlage vers l'âge de 24 mois (Trotz-Williams et al., 2007; Haworth et al., 2008), puisqu'il était considéré qu'en dessous de cet âge les chances d'avoir atteint un poids corporel adéquat pour soutenir la future production laitière étaient faibles (Ettema et Santos, 2004). De nos jours, selon Babaei et al. (2021), l'âge optimal au premier vêlage serait à 22 mois d'âge. En fait, selon cette même étude, un âge au premier vêlage inférieur à 21 mois aurait un impact négatif sur la production laitière ainsi que la production de gras et de protéine. Un premier vêlage entre 25 et 38 mois d'âge aurait comme impact de diminuer la quantité de matière grasse et de protéine du lait de façon irrégulière. À titre informatif, en 2020 au Québec, l'âge moyen au premier vêlage était de 26,1 mois (Lactanet, 2020). Il aurait aussi été démontré que l'augmentation de l'âge au premier vêlage amènerait une réduction de la vie productive ainsi qu'une diminution des chances d'atteindre le deuxième vêlage (Eastham et al., 2018). L'importance de l'atteinte d'un poids corporel adéquat au premier vêlage est primordiale, car si celui-ci est insuffisant cela pourrait mener à des difficultés au niveau du vêlage et entraîner la naissance d'un veau

n'étant pas en bon état de santé (Ettema et Santos, 2004). En bref, la réduction de l'âge au premier vêlage permettrait d'améliorer la santé mammaire, d'augmenter la vie productive ainsi que les performances de reproduction (Eastham et al., 2018).

Il est pertinent de mentionner l'importance du poids à la naissance sur l'âge au premier vêlage. Les génisses plus lourdes à la naissance connaîtraient un âge au premier vêlage réduit (Ghoraishy et Rokouei, 2013). Cette observation est aussi apportée par l'étude de Costa et al. (2021), ou l'âge au premier vêlage aurait été significativement moindre pour les veaux ayant des poids à la naissance plus élevés (facteur de corrélation -0,12). La même tendance s'observe d'ailleurs pour les veaux plus lourds entre un et trois mois d'âge (facteur de corrélation (- 0.14). Ghoraishy et Rokouei (2013) ont également rapporté que les génisses ayant vêlé plus jeunes ont toutefois connu un intervalle vêlage-saillie, un intervalle saillie-conception et un intervalle vêlage-vêlage plus important. De plus, les taux de dystocies seraient aussi plus élevés chez les génisses vêlant plus jeunes.

Finalement, les résultats rapportés dans les études antérieures quant aux impacts d'une alimentation lactée intensive sur l'âge au premier vêlage sont parfois contradictoires. Par exemple, Drackley et al., (2007) n'ont trouvé aucune différence significative au niveau de l'âge au premier vêlage. Rincker et al. (2011) rapportent une différence numérique de 14 jours entre les génisses sous régime modéré et intensifié (10 % PV vs 17 % PV), et ce en faveur de ces dernières. De l'autre côté, selon Curtis et al. (2018), l'âge au premier vêlage aurait été significativement plus bas pour les génisses ayant eu un accès *ad libitum* aux aliments lactés en comparaison à celles recevant en moyenne 5,6 L/j (57,4 vs 62,7 semaines, $P = 0{,}043$). Il reste donc complexe de déterminer avec certitude si l'alimentation lactée intensive à de réels impacts positifs sur l'âge au premier vêlage et sur les performances futures au niveau de la reproduction.

Même si certaines études observent des résultats positifs quant aux performances de reproduction, l'importance de la surveillance et de la mise en place d'un suivi systématique (pesée, surveillance des signes de chaleur, technique d'insémination) sur les fermes reste primordiale dans l'obtention de tels résultats. Effectivement, même si les génisses atteignent

plus rapidement le poids nécessaire à la saillie (55 % du poids mature), l'obtention d'une saillie fécondante est dépendante d'un bon suivi en reproduction afin que les génisses soient aussi saillies plus rapidement (Caraviello et al., 2006).

1.3 Impact du développement sur la productivité en première lactation

1.3.1 Développement de la glande mammaire

Avant de s'intéresser au développement de la glande mammaire, il est d'abord de mise de se pencher sur sa structure afin d'en comprendre le fonctionnement. En fait, la glande mammaire fonctionnelle est constituée d'alvéoles qui forment des lobules et qui, à leur tour, forment des structures appelées les lobes. Ces lobes représentent le parenchyme ou le tissu sécréteur de la glande mammaire. Le système lobulo-alvéolaire est entouré de tissus de soutien que l'on appelle stroma. Dans chacune des alvéoles se retrouve un épithélium monocouche qui assure la fonction sécrétoire de la glande mammaire. L'apport des éléments nécessaires à la production laitière, comme le glucose, les acides aminés et les minéraux sont assurés par les interactions se produisant entre les cellules épithéliales et le système sanguin de la vache (Jammes et Djiane, 1988). Ainsi, il faut assurer le bon développement de ces structures afin de favoriser une bonne production laitière. Le développement de la glande mammaire est donc un processus se déroulant lentement, de la naissance à la première gestation, mais connaissant une phase exponentielle lors du dernier tiers de la gestation (Jammes et Djiane, 1988). En période de prépuberté, le développement est caractérisé principalement par la ramification et l'élongation des conduits mammaires et la formation du tissu adipeux (Meyer et al., 2006).

Chez les génisses prépubère, il est reconnu que le développement de la glande mammaire est influencé par le système endocrinien (Akers, 2006) et plus précisément, par les taux de somatotropine et d'estrogène (Radcliff et al., 2000). La somatotropine bovine stimule la croissance par l'augmentation de la synthèse du facteur de croissance 1 (IGF-1). Ce facteur à un rôle dans la régulation de la croissance et de la différenciation cellulaire, dans le maintien de la fonction cellulaire ainsi que dans la prévention de l'apoptose dans plusieurs types de

cellules (Akers, 2006). La somatotropine stimulerait le développement du parenchyme mammaire (Sejrsen et al., 1982), tandis que l'œstrogène augmenterait la prolifération des cellules épithéliales (Capuco et al., 2002).

À la naissance, on peut qualifier la glande mammaire d'élémentaire, puisqu'aucune structure alvéolaire n'est observable. À partir du 3^{e} mois de vie, la glande mammaire connaît une croissance allométrique positive (Sinha et Tucker, 1969). Ensuite, et jusqu'à la puberté, une phase de croissance rapide peut être observée, c'est la prolifération du tissu adipeux ainsi que la croissance des canaux lobulaires (Jammes et Djiane, 1988). À l'atteinte de la puberté, la glande mammaire est alors constituée au 2/3 de tissu adipeux et au 1/3 de parenchyme mammaire (Sejrsen et al., 1982). Afin de privilégier une production laitière optimale, il faut s'assurer que le développement du tissu adipeux ne se fasse pas au détriment de celui du parenchyme (Jammes et Djiane, 1988). Effectivement, cela entraînerait une réduction considérable de la production laitière en première lactation (Foldager et al., 1987, cité par Jammes et Djiane, 1988). Toutefois, il ne faut pas négliger l'importance du tissu adipeux, car celui-ci sert de support au développement des canaux servant à la mise en place du système lobulo-alvéolaire (Knight et Peaker, 1982).

L'information retrouvée dans les différentes études sur le programme alimentaire favorisant le développement de la glande mammaire est parfois contradictoire. Effectivement, certaines études stipulent qu'un gain de poids pré-sevrage trop important impacterait négativement le développement de la glande mammaire (Herman et Ragsdale, s.d., cités par Sejrsen et al., 2000 ; Meyer et al., 2006). Le pourcentage de tissus sécrétoire retrouvé dans la glande mammaire serait moindre chez les animaux ayant eu un GMQ plus important dans leur première année de vie (Harrison et al., 1983).

Toutefois, d'autres études ont pu mettre en évidence un lien entre le développement prépubère et la future production laitière. Selon Shamey et al. (2005), les génisses suivant un programme d'alimentation intensifiée, soit celles ingérant plus de protéine brute, d'énergie métabolisable et de MS verraient leur niveau de productivité amélioré en première lactation. Il reste tout de même pertinent de spécifier que selon Sejrson et al. (2000), un haut taux de

croissance n'affectera pas négativement le développement de la glande mammaire, et ce, jusqu'à ce que les génisses atteignent un poids de 90 kg. En fait, la période critique au développement de la glande mammaire serait lorsque les génisses auraient un poids corporel situé entre 90 et 300 kg (Capuco et al., 1995). Une prise de poids rapide au cours des premières semaines de vie serait donc bien tolérée par le fonctionnement biologique des jeunes ruminants. Ainsi, cela permettrait de ne pas affecter négativement le développement mammaire.

En fait, la formation du tissu adipeux serait influencée par le niveau de nutriment ingéré tandis que le développement du parenchyme mammaire, lui, serait plutôt influencé par le temps alloué à son développement (Meyer et al., 2006). D'ailleurs, dans l'étude de Brown (2002), la masse parenchymateuse mammaire et la teneur en ADN parenchymateux mammaire ont augmenté chez les veaux ayant eu accès au double de la quantité de lactoremplaceur en comparaison aux veaux témoin de l'étude (3 L/j vs 6 L/j). Cette augmentation fut observée au cours des semaines 2 à 8 d'âge.

La prolifération des cellules épithéliales mammaires de veaux ayant atteint 100 kg de poids corporel (PC) a augmenté d'environ 40 % lorsque ceux-ci avaient été nourris pour l'obtention d'un GMQ de 0,95 kg/j (0,32 Mcal d'énergie brute/kg de poids corporel^{0,75}) en comparaison à ceux nourris pour un GMQ de 0,65 kg/j (0,20 Mcal d'énergie brute/kg de poids corporel^{0,75}), et ce, de 10 à 60 jours de vie (Meyer et al., 2006). Il est ici pertinent de mentionner que, dans cette même étude, la différence observée au niveau de la prolifération cellulaire n'a pas été évidente au cours des derniers stades de développement. Cette observation laisse présager que les premières huit à dix semaines d'âges sont les plus importantes au développement d'une glande mammaire efficace quant au futur niveau de production laitière (Bach, 2012).

1.3.2 Production laitière

Le niveau de production laitière est une préoccupation majeure chez tous les éleveurs. Il est impératif d'assurer la production d'un lait de qualité et en quantité adéquate. Dans l'optique de favoriser la production laitière, il faut se concentrer sur certains concepts, comme l'amélioration de la digestibilité et de l'utilisation des nutriments, le développement adéquat de la glande mammaire et une bonne régulation endocrinienne (Khan et al., 2011b; Geiger et al., 2016; Kesser et al., 2017). Des études récentes ont pu mettre en évidence un lien positif entre le développement prépubère et la future production laitière.

Les programmes alimentaires intensifiés, comme les régimes *ad libitum*, augmenteraient la quantité de lait produite au cours de la première lactation (Shamay et al., 2005 ; Bach, 2012). Shamey et al. (2005) ont observé une augmentation significative ($P < 0,05$) de la production laitière chez les veaux ayant eu libre accès à du lait en comparaison à ceux ayant été restreint à 5 L/j de lactoremplaceur (23 % de protéine brute, 12 % de matière grasse, base sèche). Le poids à la naissance et le GMQ avant la puberté pourraient avoir un impact sur la future quantité de lait produite au cours de la première lactation (Zanton et Heinrichs, 2005 ; Van De Stroet et al., 2016). D'ailleurs, Ghoraishy et Rokouei (2013) ont rapporté que les veaux de faible poids à la naissance auraient une production de lait moindre au cours de leur vie ($P < 0,001$). De plus, il est reconnu qu'en dessous de 90 kg de poids corporel, le fonctionnement biologique de l'espèce bovine permettrait une croissance rapide, et ce, sans atteindre négativement le développement du système mammaire et par le fait même la future production laitière (Serjsen et al., 2000).

Les impacts négatifs reliés à un retard de croissance au cours des premiers mois de vie des génisses peuvent être considérables, puisqu'une augmentation substantielle de l'apport alimentaire à la suite de la période de croissance considérée comme propice ne permettra pas nécessairement un gain de poids suffisant pour rattraper ce retard (Serjsen et al., 2000). La période de pré-sevrage est donc clé au bon développement des génisses laitières. D'ailleurs, un lien peut être fait entre les programmes alimentaires intensifiés et le métabolisme du glucose et des lipides, qui lui, est reconnu comme pouvant impacter la future production laitière de l'animal (Bach, 2012). En fait, offrir de 6 à 8 L/j de lait ou de lactoremplaceur à

raison de deux repas par jour pourrait entraîner une augmentation du taux de glucose et, par le fait même, impacter les futures réponses métaboliques de l'animal. Ici, un lien est à faire avec le nombre de repas auxquels ont droit les génisses. Effectivement, la combinaison d'un volume de lait ou de lactoremplaceur élevé et d'une basse fréquence de repas pourrait augmenter les risques de développement de résistance à l'insuline (Kaufhold et al., 2000 ; Terré et al., 2009). Il est aussi reconnu que les génisses Holstein seraient plus sujettes au développement d'une résistance à l'insuline que les autres races bovines (Bossaert et al., 2009). Cette résistance à l'insuline, si elle reste présente jusqu'à l'âge adulte pourrait entraîner un niveau de production laitière plus important. Effectivement, plus de glucose serait disponible pour la glande mammaire (Bach, 2012). Toutefois, il reste à noter que la résistance à l'insuline peut aussi mener à une augmentation de l'incidence des problèmes métaboliques et à de faibles performances en reproduction (Bach, 2012). Les effets à long terme sur le métabolisme des mammifères étant entraînés par la nutrition postnatale sont majoritairement guidés par des modifications épigénétiques. En guise d'exemple, les génisses subiraient des modifications épigénétiques affectant leur future production laitière au cours des 6 à 7 premières semaines de vie (Van Amburgh et al., 2011).

Une étude ayant été réalisée par Soberon et al. (2012) a pu mettre en évidence l'existence d'une relation entre le taux de croissance et l'apport en nutriment sur les futures performances laitières. Effectivement, le niveau de production laitière serait fortement corrélé avec le GMQ pré-sevrage ainsi que le poids au sevrage ($P < 0,03$). Les mêmes auteurs ont également observé que le GMQ de la naissance à l'atteinte de la puberté est aussi fortement corrélé avec la productivité laitière ($P < 0,01$). Le GMQ serait d'ailleurs responsable de 22 % de la variation en production laitière au cours de la première lactation. À noter que la consommation d'aliments solides, le taux de croissance ainsi que la hauteur au garrot ont aussi été positivement corrélées à la future production laitière (Shamey et al., 2005 ; Moallem et al., 2010 ; Heinrichs et Heinrichs, 2011 ; Soberon et al., 2012).

D'un autre côté, dans l'étude de Korst et al. (2017) ou les génisses avaient été assignées à un programme alimentaire fixé à 5 % de leur PV à la naissance (n = 10) ou à une alimentation de lactoremplaceur à volonté (n = 9), seulement une différence numérique au niveau de la

production laitière a été rapportée. En fait, à 305 jours en lait, la production de vaches primipares aurait été de 8452 ± 402 kg et de 9,064 ± 432 kg pour les génisses sous traitement restreint et *ad libitum* respectivement. Les résultats obtenus par Raeth-Knight et al. (2009) convergent d'ailleurs avec ces dernières observations. Cette étude comparait toutefois des régimes dont les niveaux de solides provenant du lactoremplaceur différaient. Aucune différence significative n'a été observée au niveau de la production laitière à 305 jours en lait pour les vaches ayant suivi un régime intensif modifié (16,7 % de solides totaux) en comparaison à un régime conventionnel (13,9 % de solides totaux). Il reste pertinent de mentionner qu'une différence numérique était tout de même présente (Raeth-Knight et al., 2009). Au niveau des composantes et de la qualité du lait, aucune différence significative n'a été observée sur la concentration moyenne de matières grasses, de protéines ou de cellules somatiques (Raeth-Knight et al., 2009). Maintenant, pour ce qui est des protéines, une autre étude a rapporté que la quantité totale de protéine du lait à 305 jours aurait connu une augmentation significative chez les vaches ayant suivi un régime intensif en comparaison à celles ayant suivi un régime conventionnel, le ratio de lactoremplaceur offert étant 2 fois plus important pour les vaches sous le régime intensif (Drackley et al., 2007). Cette même étude ne rapporte toujours aucune différence significative au niveau de la teneur en matière grasse du lait entre les traitements. Ces résultats sont d'ailleurs cohérents avec l'étude de Korst et al. (2017) ou aucune différence significative n'a été observée dans les quantités totales de gras ou de protéine.

Au final, en considérant les études portant sur le lien entre la quantité d'aliment lacté offerte en période de pré-sevrage et les performances laitières, il reste difficile de tirer une conclusion claire. Effectivement, étant donné les multiples facteurs impliqués dans un programme d'alimentation lacté, il est complexe d'identifier si l'augmentation potentielle de la performance laitière provient exclusivement de l'augmentation de la quantité d'aliment lacté ou aurait aussi un lien avec la fréquence et le mode d'alimentation ou le type d'aliment lacté offert (Bach, 2012). Les bénéfices encourus par une prise alimentaire lactée intensive se conforment, en théorie, aux explications scientifiques derrière les mécanismes favorisant la production laitière. Néanmoins, en pratique, les résultats observés sont moins explicites. Il reste qu'un consensus existe au sein des différents auteurs qui ont écrit sur le sujet sur

l'importance de la nutrition en période pré-sevrage sur la capacité à exprimer le potentiel génétique de production laitière (Soberon et al., 2012).

1.4 Hypothèse et objectifs du projet de maîtrise

Les composantes d'élevage pouvant influencer le développement des génisses laitières sont vastes et trouver le programme d'élevage le plus performant possible peut s'avérer être une tâche ardue. Néanmoins, il reste que le type d'alimentation lactée occupe une place primordiale dans l'établissement de ces programmes. Effectivement, étant donné la nature du système digestif des jeunes ruminants, procurer une alimentation optimale en jeune âge est primordial au développement et à la croissance des génisses laitières, et ce, sans compter les possibles impacts que cela peut avoir sur la future productivité de ces mêmes animaux. Encore aujourd'hui, plusieurs questionnements persistent quant aux réelles conséquences de la mise en place d'un programme alimentaire lacté avec augmentation des quantités d'aliment lacté offert. Effectivement, bien qu'il soit maintenant établi qu'un régime restreint (10 % du poids vif à la naissance) ne permette pas aux génisses d'exprimer leur plein potentiel, les impacts d'une alimentation à volume élevé restent parfois contradictoires.

Plusieurs études sont en accord avec les effets bénéfiques d'offrir une quantité de lait ou de lactoremplaceur à volonté sur les performances de croissance, la capacité d'exprimer un comportement naturel ou encore le bien-être animal. Toutefois, d'autres études mettent en évidence les baisses de performances observées en période de sevrage chez les génisses recevant des quantités plus importantes d'aliment lacté. D'autre part, les impacts de l'augmentation de la quantité d'aliment lacté offert sur la productivité en première lactation sont aussi parfois contradictoires. Certaines études montrent des différences significatives au niveau de la quantité de lait produite, tandis que d'autres ne montrent qu'une différence numérique.

L'objectif du projet de recherche était donc d'évaluer les impacts d'une alimentation à volonté en comparaison à une alimentation selon la recommandation canadienne actuelle sur les performances des génisses laitières. Plus précisément, de déterminer quels sont les effets d'un programme d'alimentation lacté à volonté sur le développement des génisses en période

de pré-sevrage, puis en période de post-sevrage, soit jusqu'à l'atteinte de la puberté, et ce, en comparaison à ceux encourus par un programme alimentaire lacté selon la recommandation actuelle (20 % du poids vif à la naissance). Dans un deuxième temps, les impacts de ces différents programmes sur la quantité de lait produite ainsi que les taux et les quantités de gras et de protéine lors de la première lactation ont aussi été évalués. Compte tenu des informations traitées dans cette revue de littérature, les hypothèses posées étaient (1) que l'adoption d'un programme d'élevage suivant une alimentation lactée à volonté avec un sevrage tardif entraîne un meilleur développement qu'un programme ou les génisses reçoivent une quantité d'aliment lacté fixés à 20 % du poids vif à la naissance, puis (2) que ces mêmes génisses ayant suivi le traitement à volonté ont aussi de meilleures performances laitières en première lactation.

Chapitre 2 Impact of milk feeding on pre- and post-weaning performance of Holstein dairy heifers

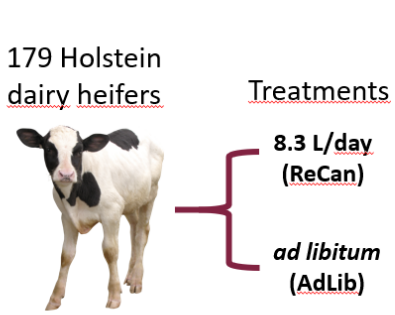
2.1 Résumé

En période pré-sevrage, la consommation de lait ou de lactoremplaceur par les génisses laitières est reconnue pour avoir des impacts à court et à long terme sur leur développement, leur croissance et leur productivité. L'objectif de cette étude était d'évaluer si un accès *ad libitum* à du lactoremplaceur aurait un impact sur les performances de croissance et si ces impacts seraient maintenus dans la période post-sevrage et jusqu'à l'approche de la puberté, vers 11 mois d'âge. Dans une ferme commerciale située au Québec (Canada), 179 génisses Holstein ont été assignées aléatoirement à deux traitements, (1) du lactoremplaceur offert à 20 % du poids vif à la naissance tel que recommandé actuellement par le Code de pratiques pour le soin et la manipulation des Bovins laitiers (ReCan) et (2) un accès *ad libitum* au lactoremplaceur (AdLib). Le sevrage à débuter à 64 et 52 jours d'âge pour ReCan et AdLib respectivement et a été complété à 76 jours d'âge pour les deux traitements. Le lactoremplaceur (28 % PB, 16 % MG, 15 % MS) a été offert via un système d'alimentation automatisé et sa quantité a été progressivement réduite au sevrage, sur 12 et 24 jours pour ReCan et AdLib, avec un programme identique sur les 12 derniers jours. Les données ont été recueillies pour chaque génisse afin d'obtenir le poids corporel, la circonférence thoracique, la hauteur au garrot, la hauteur aux hanches et la largeur aux hanches pendant la période de pré-sevrage et à l'approche de la puberté (±11 mois). La consommation moyenne de lactoremplaceur au pic de consommation était de 7,8 L/jour pour ReCan et de 9,9 L/jour pour AdLib. Nos résultats montrent que les génisses sous AdLib avaient un poids corporel et un gain quotidien moyen significativement plus élevés à 55 jours et à l'approche de la puberté en comparaison aux génisses sous ReCan. Au sevrage, aucune différence significative n'a été observée pour la circonférence thoracique, la hauteur au garrot, la largeur des hanches ou le gain moyen quotidien. Cependant, lorsque seules les génisses ayant un apport d'au moins 7,5 L/j au pic de consommation étaient incluses dans l'analyse, la hauteur aux hanches était significativement plus élevée pour les génisses AdLib à 55 jours d'âge, au sevrage et à l'approche de la puberté. Nos résultats indiquent que les gains associés à conformation obtenus en pré-sevrage chez les génisses sous traitement AdLib persistent jusqu'à l'approche de la puberté, même lorsque comparé à la recommandation de 20 % du poids vif.

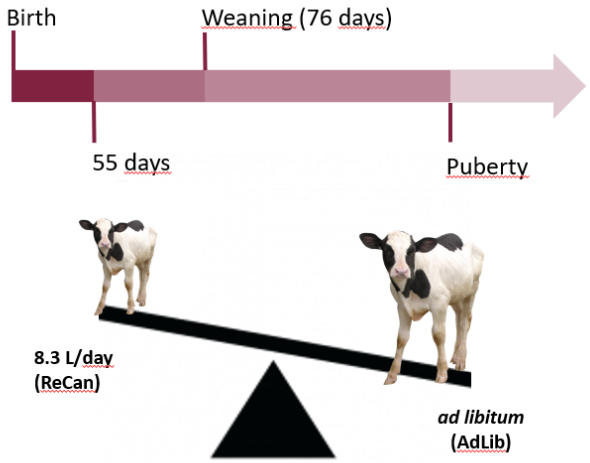
Abstract

The milk or milk replacer intake by dairy heifers during their pre-weaning period is known to have impacts on their early and long-term development, growth and productivity. The objective of this study was to assess whether providing *ad libitum* access to milk replacer in comparison to the current Canadian recommendation would impact growth performance during the pre-weaning period, and if those impacts could be maintained in the post-weaning period, until nearing puberty at 11 months of age. On a commercial farm located in Quebec (Canada), 179 Holstein heifers were randomly assigned to two treatments, (1) offer of milk replacer at 20% of live weight at birth as currently recommended by the Code of Practice for the Care and Handling of Dairy Cattle (ReCan), and (2) *ad libitum* access to milk replacer (AdLib). Weaning started at 64 and 52 days of age for the ReCan and AdLib and was completed at 76 days of age for both treatments. Milk replacer (28% CP, 16% MF, 15% DM) was offered via an automated feeding system and the amount of milk replacer was gradually reduced at weaning, over 12 and 24 d for ReCan and AdLib respectively, with an identical program for the last 12 d. Data were collected for individual heifers to obtain body weight, heart girth circumference, withers height and hip width during the pre-weaning (d55) period and at the near puberty (±11 mo). Mean milk replacer intake at peak consumption was 7.8 L/day for ReCan and 9.9 L/day for AdLib. Our results show that heifers on AdLib had significantly higher body weight and average daily gain (ADG) at 55 d of age near puberty compared to heifers on ReCan. At weaning, no significant differences were observed for heart girth circumference, withers height, hip width or average daily gain. However, when only the heifers with an intake of at least 7.5 L/d at the peak of consumption were included in the analysis, the height at the hips was significantly higher for the AdLib heifers at 55 d of age, at weaning and near puberty. Our results indicate that pre-weaning gains associated with the body conformation persist until nearing puberty on an AdLib program and this even when compared to the recommendation of 20% of live weight in milk replacer.

Graphical abstract



- AdLib heifers achieved significantly higher body weight then the ReCan
- Pre-weaning milk replacer consumption is critical to the growth performance of dairy heifers



2.1 Introduction

Restricted milk feeding programs have been shown to negatively impact growth and health of dairy calves while increasing the quantity of milk or milk replacer offered improves development during the pre-weaning period (Appleby et al., 2001; Jasper et Weary, 2002). The current dairy Canadian recommendations specifies that heifers should receive at least 20% of their live weight at birth in milk or milk replacer [National Council for the Care of Farm Animals (CNSAE), 2009], with the objective of allowing heifers to express their full potential in terms of growth and development. However, some studies have also shown the benefits of an *ad libitum* feeding program, but most of them were carried out under research farm conditions and the long-term impact on growth and performances is still unclear (Jasper et Weary, 2002; Korst et al. 2017; Appleby et al., 2001; Terré et al., 2006).

The objective of this study was to compare the impacts of an *ad libitum* milk replacer feeding program to a program following the Canadian recommendation on the growth performance of dairy heifers during the pre- and post- weaning periods on a commercial farm. Our hypothesis was that the *ad libitum* program would lead to increase growth performance of heifers in the pre-weaning period that would last at least until the puberty period.

2.2 Material and methods

A commercial farm located in Québec, Canada, and averaging 580 milking cows was recruited for the study. Data collection took place over a period of approximately 3 yr, from April 2018 to November 2021. The experimental procedure was approved by the Animal Care Committee of Laval University, Québec, Canada (authorization number: 2018007-1) and all animals were handle following the code of practice establish by the National Council for the Care of Farm Animals (CNSAE, 2009).

2.2.1 Animals, treatments and procedures

In total, 179 Holstein calves were followed from birth to puberty. Each heifer was recruited at birth and randomly assigned to one of two treatments: (1) offer of milk replacer at 20% of live weight at birth which is the current recommendation of the Code of Practice for the Care and Handling of Dairy Cattle (ReCan; National Council for the Care of Farm Animals (CNSAE), 2009), and (2) ad libitum access to milk replacer (AdLib). The quantity of milk replacer offered to heifers on the ReCan treatment was estimated from the average live weight of the calves at birth during a pre-test performed 3 wk before the start of the study and was defined as 8.3 L/d of milk replacer. Calves had unlimited access to forage, concentrate feeds and water during the entire pre-weaning and weaning periods. The composition of the commercial milk replacer was 28% crude protein, 16% fat and the concentration was of 15% DM (176 g of powder added to a liter of water). During the heifer's first days of life, farm employees recorded the intake of milk replacer. Once in the grouped pens and until the end of the weaning period, the intake of milk replacer by each of the calves was obtained from the automatic feeder SD card CSV files. The two milk replacer feeding regimens were given from birth until 76 d of life, i.e., at the end of weaning. Weaning was achieved gradually following a 12- or 24-d weaning program for the ReCan and AdLib treatments respectively. The objective of the two weaning programs was to reduce the quantities of milk replacer gradually from 8.3 L/d to 0 L/d for the last 12 d of both programs. For the first 12 d of 24 d of the weaning protocol of the AdLib weaning program the quantity of milk replacer was decreased from 16 L/d to 8.3 L/d and only a few animals actually

reached 16 L/d. The heifers were weaned at 76 d of age because it was shown that solid feed intake is sufficient for most animals at this age when large quantities of milk or milk replacer are offered (Roth et al., 2009) and it was not possible to measure solid feed intake under the current commercial conditions.

All animals were identified at birth using a unique electronic RFID-type ear tag obtained from Agri-Traçabilité, Québec, Canada that was used to identify each calf at the automated milk feeder. The workers aimed for a first meal of 4 L of colostrum before 2 hours of life. For heifers that did not have access to a first drink before this target time, they still received the 4 L at least in the first 12 hours of life. The second meal of colostrum was fed before 24 hours of life. If the minimal amount of colostrum was not ingested in time, the heifers were force-fed using an esophageal tube. Colostrum quality was assessed using an ELISA test (QuantELISA, Package Bio K 165/2, Bio-X Diagnostics S.A., Belgium) and the mean ±SD IgG concentration was of 41.9 ± 18.62 mg/mL, mean ±SD serum IgG level in calves obtained between 24 to 72 h of life was 16 ± 4.97 mg/mL. Starting at two days of age, milk replacer was manually offered twice a day in individual or paired pens until 7 to 12 d of age depending on calf's health status. The calves were then transferred to a group pen until 1-week post-weaning where they received milk replacer from an automatic milk feeder (Lely Calm, Lely North America, Pella, Iowa, USA).

Pre-weaning heifers were housed in 4 group pens and moved from one pen to another by an employee of the farm based on the respective age and size of each of the heifers. Because grouping was dynamic and treatments were offered individually at the animal level by the feeder, the experimental unit was the calf. One automated milk feeder station was available per pen. The mean (±SD) animal density was 22.9 (± 5.22) calves per pen (teat). Following weaning and before they reached 7 to 8 mo of age, the heifers were housed in groups in another section of the barn with a total of 6 pens. They were then transferred to the heifer's barn, a section directly connected to the two previous ones. In this part of the barn, the heifers went through a total of 5 pens until the final weighing near puberty. At this point and until reaching puberty, each pen contained approximately 20 heifers for 23 stalls. After weaning, the animals changed pens according to their age and animal density, following the arrival of younger animals. At a management level, employees were not able to distinguish the ReCan

and AdLib heifers, thus is it correct to assume the treatments were distributed randomly in each of the pens.

2.2.2 Data collection

The study was carried out in two phases, the first took place from birth until 1-wk post-weaning and the second phase at 11 mo ± 2 wk, near puberty. During the first 3-wk of the first phase, weight, heart girth circumference, withers and hip heights were measured for all individual heifers three times a week. Subsequently, these measures were taken every two weeks until 1-wk post-weaning. Weighting in kilograms of the animals was obtained using an electronic scale (Western Scale, model M1, Port Coquitlam, BC, Canada and Balance Load Bar Anyload, Fairfield, NJ, USA). Body measurements were always performed by two team members to be able to immobilize the animal while taking the measurements. We used a small metal tape to measure heart girth circumference. The heart girth circumference corresponds to the circumference of the body directly behind the shoulder, i.e., at the fourth rib (Lukuyu et al., 2016). We used a stadiometer to measure withers height, which corresponds to the distance between the ground and the highest point of the withers. To ensure the homogeneity of the measurements, the back of the animal had to be straight and its head parallel to the ground. Following the same procedure, the hip height was taken using the same instrument. To measure the hip width, which corresponds to the distance between the two trochanters (Dingwell et al., 2006), we used a custom-made measuring device made of two L-shape brackets sliding into one another to obtain a precise measurement of the width in centimeters. The ADG was determined using the body weight measurements and we interpolated measurements when a measure at a specific day (e.g. exactly d 55) was not available.

2.2.3 Statistical Analysis

All data were entered in different Excel spreadsheets and assembled into one larger dataset that was used in R 3.6.2 (2019; R Core Team, Vienna, Austria) to obtain descriptive statistics of the herd and heifers and perform statistical analyses. All data were tested for normality and variance homogeneity and theses criterions were respected for all analysis. We used the

lmer function in the lme4 package for our mixed model analysis. For all analyses, a *P-value* < 0.05 was considered significant and tendencies were reported if $0.05 < P \leq 0.10$.

We performed two analyses of the results considering two different animal's inclusion criteria. In our first analysis, all the heifers of this study were used (All). In the second, only heifers with a minimal median intake of 7.5 L/d of milk replacer, representing 90% of the maximal ReCan consumption, measured from 25 to 57 d of age, were included (MinIntake). We selected this minimal amount of 7.5 L/d based on the proportional difference between offered and real consumption level of heifers gathered in the literature, which shows that, on average, heifers intake is between 78% and 90% of the total quantities offered (Hill et al., 2016; Overvest et al., 2016; Rosenberg et al., 2017). The data were analyzed at pre-specified critical periods corresponding to the birth, 55 d of age, end of weaning (76 d) and near puberty (post-weaning). To estimate the ADG for a given period, the weight of the last day of the previous period and the last day of the given period were used in the calculation.

2.2.3.1. Health monitoring and analysis

The health status of the calves was regularly monitored using the Wisconsin visual health chart (McGuirk, 2008) in combination with the health records of each heifer obtained from the producers. To assure a similar assessment of health by all the members participating to the data collection, training on the use of the Wisconsin chart was realized before starting the project. Overall, 32% and 24% of the heifers experienced two or more episodes of illness in the All vs. MinIntake analysis, respectively. The number of heifers that were classified as sick was similar between the 2 treatments and represented 33% ReCan vs 33% AdLib and 20% ReCan vs 29% AdLib for the All and MinIntake analysis, respectively. The treatment did not have a significant impact on the health status of calves in our study. The mean milk replacer intake of sick versus healthy heifers using All the heifers were 7.3 ± 0.7 L/d vs. 7.8 ± 0.7 L/d respectively and 8.0 ± 0.9 L/d vs. 8.3 L/d ± 0.8 L/d for the heifers in the MinIntake analysis. It is recognized that the health status of heifers can have a significant impact on their feeding behavior. Duthie et al. (2021) showed that the duration of feeding and the number of visits to the automated feeder was significantly lower in sick heifers than for the healthy heifers (19.3 ± 1.4 vs 22.8 ± 1.5 min, $P < 0,05$; 2.1 ± 0.2 vs 3.2 ± 0.4, $P < 0.05$).

2.2.3.1. Preweaning and Post-weaning period

We assessed the differences of treatments for five measurements at birth (weight, heart girt circumference, withers height, hip height and width) using mixed models with the measurements as dependent variable, the treatment as a fixed effect and the month at birth as a random effect. To evaluate the impact of the treatment on the five body measurements but later in the life of the animals we used similar mixed models with the addition of the health status as fixed effect and the same measurements, but at birth, as covariate. The ADG was modeled using the treatment and the health status as fixed effect and the month at birth as a random effect. We measured animals near puberty between 10.5 and 11.5 mo of age, so we also added the age in days at the measurements as a covariate to consider this variation in the statistical model.

2.3 Results and Discussion

2.3.1. Preweaning period

All heifers

If we consider All the heifers and focus on results at birth, such as the weight and all body measurements, none were significantly different between heifers on ReCan and AdLib treatments. At 55 d of age, the weight was significantly higher for the AdLib calves (83 vs. 80 kg, $P < 0.01$), as well as the hip width (22.2 vs. 21.8 cm, $P < 0,01$), the ADG (0.77 vs. 0.72 kg/d, $P < 0.01$) and a tendency was observed for the heart girth circumference (Table 1).

Results of the pre-weaning period (birth to 55 d of age) are consistent with the fact that consuming more nutrients by offering more DM to the calves allow for greater gains. Indeed, heifers with a greater intake, such as our AdLib treatment, usually obtains higher weight gains in the pre-weaning period than restricted heifers (Appleby et al., 2001; Jasper et Weary, 2002; Korst et al., 2017). In terms of body measurements, Rincker et al. (2011) observed significantly greater hip width at 42 d of age in calves that had access to 17% compared to 10% of their BW in milk replacer. Significantly greater withers height was also observed for calves consuming more (Rincker et al., 2011). Curtis et al. (2018) reported significantly higher pre-weaning (from 27 to 48 d of age) hip height for heifers with *ad libitum* access to

milk replacer compared with those restricted to 10% of their BW. Increased withers and hip height were not observed in our study. This could come from the higher difference in intake in these experiments compared to ours. Finally, for the heart girth circumference, it was showed to be highly correlated to heifer's weight (Lukuyu et al., 2016). A link was established between growth performances in the pre-weaning period and the future productivity of cows (Van Amburgh et al., 2011; Soberon et al., 2013). In fact, Soberon et al. (2012) showed that first-lactation milk response increases according to the pre-weaning ADG following a linear correlation (P < 0,01).

Heifers with a minimal consumption of 7.5 L/d

When considering calves in the MinIntake analysis, weight and hip height measurements at birth were significantly higher for the AdLib calves compared to the ReCan calves (44 vs. 42 kg, $P = 0.03$: 82.9 vs. 81.7 cm, $P = 0.03$). For withers height, the AdLib heifers tended to be taller than those on ReCan (78.9 vs. 78.0 cm, $P = 0.07$, Table 1). This result was unexpected, but we suspect it might have been easier for the biggest calves on the AdLib treatment to reach the 7.5 L/d because of the constraint in milk allocation associated with automated feeding systems program. It has been shown that calves with higher birth weight have increased ingestion capacity (Van De Stroet et al., 2016).

At 55 d of age, the weight was significantly different with 87 kg and 83 kg for the AdLib and the ReCan heifers, respectively ($P < 0.001$). Similarly, the heart girth circumference (101.3 vs. 99.7 cm, $P < 0.01$), hip height (96.4 vs. 95.4 cm, $P = 0.03$), hip width (22.7 vs. 22.1, $P < 0.01$) and ADG (0.83 vs. 0.77 kg/d, $P < 0.001$) were all significantly higher for the AdLib treatment compared to the ReCan (Table 1). These observations are in line with results of previous study with a positive impact of increased intake on weight and height of heifers (Appleby et al., 2001; Jasper et Weary, 2002; Korst et al., 2017).

2.3.2. Weaning and post-weaning period

All heifers

For the weaning weight for All heifers of the study, we observed no significant difference between the ReCan and the AdLib heifers, but there was a tendency for a greater heart girth circumference for the AdLib (Table 2). These results imply that the pre-weaning differences

observed between the two treatments were not maintained from 55 to 76 d of age (at weaning). According to Khan et al. (2007) and Raeth-Knight et al. (2009), the increase in the quantities of milk or milk replacer ingested in the pre-weaning period leads to a decrease in concentrate ingestion. This could result in a delay in rumen development and, consequently, a lower weight gain at weaning (Suarez-Mena et al., 2011). Additionally, Korst et al. (2017) even observed that although ADG from 2 to 27 d of age of heifers following an *ad libitum* diet was significantly greater ($P < 0.05$) than those receiving a restricted amount of milk replacer (6,98 L/d), the tendency was inverted from 28 to 69 d of age ($P < 0.10$). This could be explained by the fact that calves consuming lower levels of milk or milk replacer generally consume more solid feed (Abdelsamei et al., 2005). This higher intake may result in some earlier ruminal activity for calves with access to lower quantities of liquid feed compared to calves fed *ad libitum* and thus higher weight gain (Baldwin et al., 2004). We hypothesized that a weaning at 76d of age would prevent this decrease in gain during weaning for heifers on the AdLib treatment, but it was shown that even if on average concentrate intake of heifers are sufficient at this age, there is variabilities between heifers (Roth et al., 2009). The results in this study are coherent with previous studies, with no significant difference between treatments observed at weaning.

For All the heifers of the project and at the onset of puberty (±11 mo), the weight of the AdLib heifers (369 vs. 357 kg, $P < 0.01$), the hip height (135.0 vs. 134.0 cm, $P < 0.01$) and the ADG from weaning to near puberty (1.04 vs. 0.99 kg/d, $P < 0.01$) were all significantly higher for the heifers on the AdLib treatment. In addition, withers height and hip width had a tendency of being higher for the AdLib treatment (Table 2). The results obtained for the weight and ADG from weaning to the onset of puberty are consistent with other studies. Indeed, our results could be explained by a greater weight gain generally obtained in the first 3 wk of age as reported by Korst et al. (2017). Also, Moallem et al. (2010) reported that an increase in ADG during the first 2 mo of life led to a greater body weight at 24 mo of age. This suggests that the difference observed with an *ad libitum* feeding plan could be maintained well after weaning. Regarding body measurements, Rincker et al. (2017) did not observe increased hip and withers heights after weaning when calves consumed 17% compared to 10% of their BW in milk replacer. Thereby, our results may indicate that

offering more than 20% of BW at birth of milk replacer could lead to a greater skeletal growth as well.

Heifers with a minimal consumption of 7.5 L/d

With the MinIntake analysis, AdLib heifers had significant higher hip height at weaning (101.1 vs. 99.9 cm, $P = 0.02$) and tended to have increased heart girth circumference and withers height tended to be greater (Table 2). We observed no significant differences for body weight and ADG from 55 to 76 d of age. Except for hip height, the results obtained from the MinIntake and All analyses are similar. For the MinIntake analysis at the onset of puberty, the weight (373 vs. 357 kg, $P < 0.01$), heart girth circumference (170.0 vs. 168.0 cm, $P < 0.01$), withers height (129.0 vs. 127.0 cm, $P < 0.01$), hip height (136.0 vs. 134.0 cm, $P < 0.001$), and ADG (1.04 vs. 0.99 kg/d, $P < 0.01$) were all significantly higher for the heifers on AdLib. However, hip width was not significantly different between treatments (Table 2).

These results further emphasize that although the amount of nutrient received by the ReCan heifers is considered to be sufficient, an increase in the quantities of milk replacer results in superior gains. Those gains are not only observed in the first months of life, but also at the onset of puberty. Skeletal growth was also found to be of importance for the achievement of a certain withers height in determining the age at first service (Curtis et al., 2017).

2.4 Conclusion

Results obtained using all the heifers (All) or using only the heifers consuming a minimum of 7.5 L/d (MinIntake), demonstrated that heifers on the AdLib treatment had higher milk replacer intake during the pre-weaning period, achieved significantly higher body weight, ADG and hip width on d55 than heifers following the ReCan treatment. No significant differences were observed at weaning except for the height at the hips that was higher for heifers on the AdLib treatment. Approaching puberty, heifers on the AdLib treatment had significantly higher body weight, ADG and hip height than the ReCan heifers. These results

highlight the importance of milk replacer intake during pre-weaning on post weaning results, and the fact that the weaning period does impacts the growth performance of dairy heifers. Moreover, the fact that even when the inclusion criteria for the analysis are less stringent the results observed on growth performance are still perceptible demonstrate the robustness of results concerning the quantity of nutrients ingested. Further research as to identify a weaning program ease to implement on commercial farms allowing for optimal transition from liquid feed to solid feed while offering large amounts of milk replacer is still needed.

Notes

This study was funded through NSERC, CRIBIQ and Novalait inc. We want to thank the farm that has accepted to adopt the research protocol of this project. The authors would also like to thank the many students and research assistants who have contributed directly or indirectly to the project.

Table 1. Body weight, heart girth circumference, withers height, hip height, hip width and average daily gain of All the heifers (n = 179), or the analysis using only heifers with a minimal 7.5 L/d intake threshold during peak consumption at birth, and at 55 days of age in function of the given treatment.

	At birth				55 d[1]			
	ReCan[2]	AdLib[3]	SE	*P-value*	ReCan	AdLib	SE	*P-value*
All								
n	86	93			86	93		
Weight (kg)	42	43	0.5	0.26	80	83	0.8	<0.01
Heart girth circumference (cm)	78.7	78.7	0.51	0.93	98.4	99.3	0.36	0.07
Withers height (cm)	77.7	78.1	0.31	0.30	90.3	90.8	0.32	0.29
Hip height (cm)	81.7	82.1	0.36	0.35	94.6	95.2	0.33	0.18
Hip width (cm)	16.5	16.5	0.22	0.74	21.8	22.2	0.18	<0.01
Average daily gain (kg/d)	-	-	-	-	0.72	0.77	0.016	<0.01
Heifers with a minimal intake of 7.5 L/d (MinIntake)								
n	55	52			55	52		
Weight (kg)	42	44	0.6	0.03	83	87	0.8	<0.001
Heart girth circumference (cm)	78.9	79.7	0.61	0.20	99.7	101.3	0.46	<0.01
Withers height (cm)	78.0	78.9	0.40	0.07	91.2	92.1	0.38	0.06
Hip height (cm)	81.7	82.9	0.46	0.03	95.4	96.4	0.39	0.03
Hip width (cm)	16.6	16.6	0.26	0.66	22.1	22.7	0.21	<0.01
Average daily gain (kg/d)	-	-	-	-	0.77	0.83	0.018	<0.001

[1]The average daily gain of this period corresponds to that from birth to 55 d of age

[2]ReCan: Calves following the actual Canadian recommendation in terms of milk replacer quantity

[3]AdLib: Calves having free access to milk replacer

Table 2. Body weight, thoracic circumference, withers height, hip height, hip width and average daily gain of all the heifers analysis (n = 179), or the analysis using only heifers with a minimal 7.5 L/d intake threshold during peak consumption (n = 107) at weaning (76 days of age) and at puberty (11 months ± 2 weeks) in function of the given treatment.

	At weaning[1]				At puberty[2]			
	ReCan[3]	AdLib[4]	SE	*P-value*	ReCan[3]	AdLib[4]	SE	*P-value*
All								
n	86	93			86	93		
Weight (kg)	100	101	1.6	0.55	357	369	10.5	<0.01
Heart girth circumference (cm)	107.0	108.0	0.49	0.07	167.3	168.6	1.30	0.19
Withers height (cm)	95.0	95.6	0.36	0.19	127.1	128.2	0.43	0.06
Hip height (cm)	99.1	99.7	0.40	0.25	133.6	135.3	0.55	<0.01
Hip width (cm)	23.9	24.1	0.26	0.48	43.5	44.2	0.43	0.10
Average daily gain (kg/d)	0.90	0.87	0.025	0.36	0.99	1.04	0.018	<0.01
Heifers with a minimal *intake* of 7.5 L/d *(*MinIntake*)*								
n	55	52			55	52		
Weight (kg)	103	104	2.1	0.74	357	373	16.3	<0.01
Heart girth circumference (cm)	106.7	107.8	0.50	0.07	167.8	170.1	1.24	0.03
Withers height (cm)	95.8	96.8	0.46	0.09	127.1	129.0	0.56	<0.01
Hip height (cm)	99.9	101.1	0.46	0.02	133.6	135.3	0.60	<0.001
Hip width (cm)	24.3	24.5	0.37	0.67	43.2	44.2	0.56	0.10
Average daily gain (kg/d)	0.92	0.88	0.031	0.36	0.99	1.04	0.020	0.01

[1] The average daily gain of this period corresponds to that from 55 d to weaning (76 d)

[2]The average daily gain of this period corresponds to that from weaning to onset of puberty (11 mo ± 2 wk)

[3]ReCan: Calves following the actual Canadian recommendation in terms of milk replacer quantity

[4] Ad Lib: Calves having free access to milk replacer

2.6 References

Abdelsamei, A.H., Fox, D.G., Tedeschi, L.O., Thonney, M.L., Ketchen, G.J. et Stouffer, J.R. (2005). The effect of milk intake on forage intake and growth of nursing calves. Journal of Animal Science, 83(4), 940-947. https://doi.org/10.2527/2005.834940x

Appleby, M.C., Weary, D.M. et Chua, B. (2001). Performance and feeding behavior of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Applied Animal Behaviour Science*, *74*(3), 191-201. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00171-X

Baldwin, R.L., McLeod, K.R., Klotz, J.L. et Heitmann, R.N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. Journal of Dairy Science, 87, E55-65. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2

Christoph-Schulz I, Salamon P, Weible D. (2015). What about the calves? How society perceives dairy farming. In Diana Elena Dumitras (Ed.): Know your food. *Food ethics and innovation*, Wageningen Acad. Publ, pp. 318–324. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174013

Conseil national pour le soin des animaux d'élevage et Producteurs laitiers du Canada. 2009. Code de pratiques pour le soin et la manipulation des bovins laitiers. Lacombe, Alb.: Conseil national pour le soin des animaux d'élevage = National Farm Animal Care Council.

Curtis, G., McGregor Argo, C., Jones, D. et Grove-White, D. (2018). The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle, PLoS ONE, 13(2), e0191687. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191687

Dingwell, R.T., Wallace, M.M., McLaren, C.J., Leslie, C.F. et Leslie, K.E. (2006). An evaluation of two indirect methods of estimating body weight in Holstein calves and heifers. *Journal of Dairy Science, 89,* 3992-3998. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72442-0

Duthie, C.-A., Bowen, J.M., Bell, D.J., Miller, G.A., Mason, C. et Haskell, M.J. (2021). Feeding behaviour and activity as early indicators of disease in pre-weaned dairy calves. *Animal, 15*(3), 100150. https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100150

Eckert, E., Brown, H.E., Leslie, K.E., DeVries, T.J. et Steele, M.A. (2015). Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of Dairy Science, 98*(9), 6315-6326. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9062

Hill, T.M., Quigley, J.F., Bateman II, H.G., Suarez-Mena, F.X., Dennis, T.S. et Schlotterbeck. (2016). Effect of milk replacer program on calf performance and digestion of nutrients in dairy calves to 4 months of age. *Journal of Dairy Science, 99*(10), 8103-8110. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11239

Jasper, J. et Weary, D.M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science, 85*(11): 3054-8. 10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9

Khan, M.A., Lee, H.J., Lee, W.S., Kim, H.S., Kim, S.B., Ki, K.S., Ha, J.K., Lee, H.G. ET Choi, Y.J. (2007). Pre-and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-

down and conventional methods. *Journal of Dairy Science, 90,* 876-885. 10.3168/jds.S0022-0302(07)71571-0

Korst, M., Koch, C., Kesser, J., Mûller, U., Romberg, F.-J., Rehage, J., Eder, K. et Sauerwein, H. (2017). Different milk feeding intensities during the first 4 weeks of rearing in dairy calves: Part 1: Effects on performance and production from birth over the first lactation. *Journal of Dairy Science, 100*:3096-3108. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11594

Lukuyu, M.N., Gibson, J.P., Savage, D.B., Duncan, A.J., Mujibi, F.D. et Okeyo, A.M. (2016). Use of body linear measurements to estimate live weight of crossbred dairy cattle in smallolder farms in Kenya. *Springerplus, 5,* 63. https://doi.org/10.1186/s40064-016-1698-3

McGuirk, S.M. (2008). Disease management of dairy calves and heifers. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 24*(1), 139-153. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.003

Moallem, U., Werner, D., Lehrer, H., Zachut, M., Livshitz, L., Yakoby, S. et Shamay, A. (2010). Long-term effects of ad libitum whole milk prior to weaning and prepubertal protein supplementation on skeletal growth rate and first-lactation milk production. *Journal of Dairy Science, 93*(6), 2639-2650. https://doi.org/10.3168/jds.2009-3007

Overvest, MA., Bergeron, R., Haley, D.B. et DeVries, T.J. (2016). Effect of feed type and method of presentation on feeding behavior, intake, and growth of dairy calves fed high level of milk. *Journal of Dairy Science, 99*(1). 317-327. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9997

Raeth-Knight, M., Chester-Jones, H., Hayes, S., Linn, J., Larson, R., Ziegler, D., Ziegler, B. et Broadwater, N. (2009). Impact of conventional or intensive milk replacer programs on Holstein heifer performance through six months of age and during first lactation. *Journal of Dairy Science, 92,* 799-809. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1470

Rosenberg, K., Costa, J.H.C., Neave, H.W., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2017). The effect of milk allowance on behavior and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science, 100*(1), 504-512. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11195

Roth, B.A., Keil. N.M., Gygax, L. et Hillmann, E. (2009). Influence of weaning method on health status and rumen development in dairy calves. *Journal of Animal Science, 92,* 645-656. doi:10.3168/jds.2008-1153

Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R. W., & Van, A. M. E. (2012). Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science, 95*(2), 783–93. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4391

Soberon, F., et Van Amburgh, M.E. (2013, février). LACTATION BIOLOGY SYMPOSIUM: The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: A meta-analysis of current data, Journal of Animal Science, 91(2), 706–712, https://doi.org/10.2527/jas.2012-5834

Suarez-Mena, F.X., Hill, T.M., Heinrichs, A.J., Bateman, H.G., Aldrichm J.M. et Schlotterbeck, R.L. (2011). Effects of including corn distillers dried grains with solubles in dairy calf feeds. *Journal of Dairy Science, 94*(6), 3037-3044. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3845

Terré, M., Devant, M. et Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhances growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science, 105*(1-3), 109-119. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.05.001

Van Amburgh, M.E., Soberon, F., Raffrenato, E., Karses, J. et Everett, R.W. (2011). Taking the long view: Treat them nice as babies and they will be better adults. https://doi.org/10.21423/aabppro20114001

Van De Stroet, D., Calderón, D.J., Stalder, K., Heinrichs, A. et Dechow, C. (2016). Association of calf growth traits with production characteristics in dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 99*, 8347-8355. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10738

Conclusion

L'alimentation lactée en période de pré-sevrage est un élément clé de l'élevage des génisses laitières. L'optimisation de leurs performances de croissance et de leur développement permettrait d'assurer une relève performante. Plusieurs études ont démontré les avantages de l'augmentation des quantités d'aliment lacté offert sur le gain de poids, mais aussi au niveau de la croissance squelettique des génisses. D'ailleurs, en ce qui a trait aux performances de reproduction, plusieurs études rapportent une possible réduction de l'âge à la première saillie, une réduction de l'âge au premier vêlage conjointement à l'augmentation de la durée de vie productive. Au niveau de la productivité laitière, certaines études rapportent une augmentation de la quantité de lait produit par les vaches ayant suivies un programme alimentaire dont les quantités d'aliment lacté était très importante ou même correspondait à une alimentation *ad libitum* en période de pré-sevrage. La majorité de ces études ont toutefois été réalisées en milieu expérimental et comparaient des volumes d'aliments liquides dont la différence était souvent importante (ex. 10 % PV vs. 17 % ou *ad libitum*). De plus, les traitements étaient souvent appliqués à des veaux de sexe et de races différentes plutôt qu'exclusivement à des génisses de race Holstein. C'est dans l'optique d'évaluer les impacts engendrés par une alimentation *ad libitum* en comparaison à une alimentation respectant la recommandation canadienne actuellement en vigueur (20 % du poids vif à la naissance), dans un contexte commercial, que les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués.

Afin d'évaluer les impacts des traitements, un total de 329 génisses Holstein de deux fermes laitières commerciales avaient été recrutées. À la fin de la période de pré-sevrage et à la suite de circonstances hors de notre contrôle, une des fermes s'est désistée. Les analyses ont ainsi été effectuées exclusivement sur la ferme dont les données recueillies étaient complètes, soit de la naissance à la fin de la première lactation. Afin d'évaluer l'impact des traitements sur les performances de croissance en période de pré- et de post-sevrage, une analyse des données de poids et de mesures corporelles (circonférence thoracique, hauteur au garrot, hauteur et largeur aux hanches) a été réalisée. Les données de lactation (quantité de lait, gras et protéine) ont été recueillies tout au long de la première lactation. Malheureusement, le fait que le nombre d'animaux sur l'étude a été considérablement réduit à la suite de l'abandon d'une ferme a grandement nuit à l'analyse de l'impact d'un accès *ad libitum* à du lactoremplaceur

sur les performances en première lactation. En effet, le test de puissance effectué à révéler qu'il nous aurait seulement été possible de détecter une différence équivalente ou supérieure à 718 kg de lait produit à 270 jours en lactation, soit une différence d'environ 2,82 kg de lait par jour (G*Power 3.1.9.6). Ainsi, la vérification effectuée à mis en évidence un manque de puissance statistique. À noter que selon Soberon et Van Amburgh. (2013), les études s'intéressant aux données de production laitière devraient viser un minimum de 128 génisses par traitement. Pour une étude comme la nôtre, cela représente environ 260 génisses au total. C'était le chiffre visé en début d'expérience. Toutefois, étant donné le désistement d'une des fermes, le nombre total d'unité expérimentale n'a été que de 179 génisses au total. Ainsi, bien qu'aucune conclusion ne puisse être faite à partir des données de lactation, elles sont tout de même présentées en annexe.

Au niveau des performances de croissance, les résultats ont permis de mettre en évidence qu'en période pré-sevrage les génisses ayant un accès *ad libitum* au lactoremplaceur ont consommées significativement plus que celles suivant la recommandation. En conséquence, elles ont obtenu un poids corporel, un GMQ et une largeur aux hanches significativement plus élevés à 55 jours d'âge. Au sevrage, aucune différence significative n'a été observée à l'exception de la hauteur aux hanches étant plus élevée pour les génisses ayant un eu accès *ad libitum* et ayant respecté un seuil de consommation fixé à 7,5 L/j de lactoremplaceur. À l'approche de la puberté, le poids corporel, le GMQ et la hauteur aux hanches des génisses sous traitement *ad libitum* ont été supérieurs en comparaison à celles suivant la recommandation canadienne.

Considérant l'importance du poids des génisses au niveau des performances en reproduction, même si les bénéfices de l'augmentation des quantités d'aliment lacté offert apparaissent comme pouvant être maintenus en période de post-sevrage, la mise en place de programmes visant l'évaluation du poids des génisses sur les fermes est ici tangible afin que les saillies fécondantes soient effectuées plus tôt dans la vie de l'animal.

Pour conclure, une alimentation lactée *ad libitum* permet d'obtenir de meilleurs gains de performances en période de pré-sevrage et ces gains ont la possibilité d'être maintenus

jusqu'à l'approche de la puberté. Toutefois, les avantages des régimes *ad libitum* en situation commerciale gagneraient à être investiguer davantage. Effectivement, il semble que la transition de l'aliment liquide aux aliments solides influence négativement les gains de poids et le développement squelettique des génisses recevant plus d'aliment lacté, et ce, de façon importante. D'un autre côté, les impacts d'une alimentation *ad libitum* sur les performances laitières, bien qu'elle n'ait pas pu être évaluer dans le cadre des travaux ici présentés, reste de haute importance pour le secteur laitier. Ainsi, l'approfondissement des connaissances en ce qui a trait au développement des génisses combiner avec l'atteinte de niveaux de santé et de bien-être devrait être une priorité.

Liste des ouvrages cités

Abuelo, A., Cullens, F., Brester, J.L. (2021). Effect of preweaning disease on the reproductive performance and first-lactation milk production of heifers in large dairy herd. *Journal of Dairy Science*, *106*(6), 7008-7017. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19791

Akers, R.M. (2006). Major advances associated with hormone growth factor regulation of mammary growth and lactation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*(4), 1222-1234. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72191-9

Anderson, M.J., Khoyloo, M. et Walters, J.L. (1982). Effect of feeding whole cottonseed on intake, body weight, and reticulorumen development of young Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, *65*(5), 764-772. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82265-0

Appleby, M.C., Weary, D.M. et Chua, B. (2001). Performance and feeding behavior of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Applied Animal Behaviour Science*, *74*(3), 191-201. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00171-X

Babaei, k.H., Zahmatkesh, D., Azizi, Z. et Pahlevan, R. (2021). Association between age at first calving and lactation performance of Holstein cows in selected Iranian herds. *Journal of Animal Environment*, *13*(2), 59-66. 10.22034/AEJ.2021.135362

Bach, A., (2012). Ruminant nutrition symposium: Optimizing performance of the offspring: Nourishing and managing the dam and postnatal calf for optimal lactation, reproduction, and immunity. *Journal of Animal Science*, *6*, 1835-1845. https://doi-org.acces.bibl.ulaval.ca/10.2527/jas.2011-4516

Bach, A. (2021, octobre). Weaning strategies for optimal future performance. Conference presented at the 41st ADSA Discovery Conference: Health management of calves: From intrauterine life to successful weaning. Itasca, Illinois, United-States. https://www.adsa.org/Portals/0/SiteContent/Docs/Meetings/PastMeetings/2021_DC41_Speaker_Summaries_Bios.pdf

Bach, A. Ahedo, J. et Ferrer, A. (2010). Optimizing weaning strategies of dairy replacement calves. *Journal of Dairy Science*, *93*, 413-419. doi: 10.3168/jds.2009-2682

Bach, A., Ahedo, J. et Kertz PAS, A. (2021). Invited review: Advances in efficiency of growing dairy replacements. *Applied Animal Science*, *37*(4), 404-417. https://doi.org/10.15232/aas.2021-02164

Bach, A., Terré, M. et Pinto, A. (2013). Performance and health responses of dairy calves offered different milk replacer allowances. *Journal of Dairy Science*, *96*, 7790-7797. http://dx.doi.org/ 10.3168/jds.2013-6909

Bartlett, K.S., McKeith, F.K., Vandehaar, M.J., Dahl, G.E. et Drackley, J.K. (2006). Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *Journal of Animal Science*, *84*(6), 1454-67. 10.2527/2006.8461454x

Bar-Peled, U., Robinzon, B., Maltz, E., Tagari, H., Folman, Y., Bruckental, I., Voet, H., Gacitua, H. et Lehrer, A.R. (1997). Increased weight gain and effects on production parameters of Holstein heifer calves that were allowed to suckle from birth to six weeks of age. *Journal of Dairy Science*, *80*(10), 2523-2528. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76205-2

Barrington, G.M., Gay, J.M. et Evermann, J.F. (2002). Biosecurity for neonatal gastrointestinal diseases. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, *18*(1), 7-34. https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00005-1

Bascom, S.A., James, R.E., McGilliard, M.L. et Van Amburgh, M. (2007). Influence of dietary fat and protein on body composition of Jersey bull calves, *Journal of Dairy Science, 90*, 5600-5609. doi:10.3168/jds.2007-0004

Beam, A.L., J.E. Lombard, C.A. Kopral, L.P. Garber, A.L. Winter, J.A. Hicks et J.L. Schlater. (2009). Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations. *Journal of Dairy Science*, *92*, 3973–3980. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2225

Beaver, A., Meagher, R.M., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2019). Invited review: A systematic review of the effects of early separation on dairy cow and calf health. *Journal of Dairy Science*, *102*(7), 5784-5810. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15603

Beharka, A.A., Nagaraja, T.G., Morrill, J.L., Kennedy G.A. et Klemm, R.D. (1998). Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development of the rumen neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, *81*, 1946-1995.

Benetton, J.B., Neave, H.W., Costa, J.H.C., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2019). Automatic weaning based on individual solid feed intake: Effects on behavior and performance of dairy calves, *Journal of Dairy Science*, *102*(6), 5475-5491. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15830

Berge, A. C., Besser, T. E., Moore, D. A., et Sischo, W. M. (2009a). Evaluation of the effects of oral colostrum supplementation during the first fourteen days on the health and performance of preweaned calves. *Journal of Dairy Science*, *92*(1), 286–95. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1433

Berge, A.C.B, Moore, D.A., Besser, T.E. et Sischo, W.M. (2009b). Targeting therapy to minimize antimicrobial use in preweaned calves: Effects on health, growth, and

treatment costs. *Journal of Dairy Science, 92*, 4707-4714. doi:10.3168/jds.2009-2199

Bewley, J., Palmer, R.W.et Jackson-Smith, D.M. (2001). A comparison of Fee-Stall Barns Used by Modernized Wisconsin Dairies. *Journal of Dairy Science, 84*, 528-541, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74504-3

Borderas, T.F., de Passillé, A.M. et Rushen, J. (2009). Feeding behavior of calves fed small or large amounts of milk. *Journal of Dairy Science, 9,* 2843-2852. 10.3168/jds.2008-1886

Bossaert, P., Leroy, J.L.M.R., De Campeneere, S., De Vliegher, S. et Opsomer, G. (2009). Differences in the glucose-induced insulin response and the peripheral insulin responsiveness between neonatal calves of the Belgian Blue, Holstein-Friesian, and East Flemish breeds, *Journal of Dairy Science, 92*(9), 4401-4411. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2218

Brown, E.G. (2002). *Effects of increasing energy and protein intake on growth and mammary development in Holstein heifer calves* (PhD thesis). Michigan State University, Michigan, United-States

Brown, E.G., Vandehaar, M.J., Daniels, K.M., Liesman, J.S., Chapin, L.T., Keisler, D.H. et M.S., Nielsen. (2005). Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *Journal of Dairy Science, 88*, 585-594. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72722-3

Buczinski, S., Gicquel, E., Fecteau, G., Takwoingi, Y., Chigerwe, M., & Vandeweerd, J. M. (2018). Systematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy of serum refractometry and brix refractometry for the diagnosis of inadequate transfer of passive immunity in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *32*(1), 474–483. https://doi.org/10.1111/jvim.14893

Capuco, A.V., Ellis, S., Wood, D.L., Akers, R.M. et Garett, W. (2002). Postnatal mammary ductal growth: three-dimensional imaging of cell proliferation, effects of estrogen treatment, and expressions of steroid receptors in prepubertal calves. *Tissue and Cell*, *34*(3), 143-154. https://doi.org/10.1016/S0040-8166(02)00024-1

Capuco, A.V., Smith, J.J., Waldo, D.R. et Rexroad JR., C.E. (1995). Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science, 78*, 2709-2725. 10.3168/jds.S0022-0302(95)76902-8

Caraviello, D.Z., Weigel, K.A., Fricke, P.M., Wiltbank, M.C., Florent, M.J., Cook, N.B., Nordlund, K.V., Zwald, N.R. et Rawson, C.L. (2006). Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms. *Journal of Dairy Science*, *89*(12), 4723-4735. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72522-X

Castells, L., Bach, A., Aris, A. et Terré, M. (2013). Effects of forage provision to young calves on rumen fermentation and development of the gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science, 96*, 5226-5236. http://dx.doi.org/ 10.3168/jds.2012-6419

Conseil national pour le soin des animaux d'élevage et Producteurs laitiers du Canada (CNSAE). (2009). Code de pratiques pour le soin et la manipulation des bovins laitiers. Lacombe, Alb.: Conseil national pour le soin des animaux d'élevage = National Farm Animal Care Council.

Cooke, J.S., Cheng, Z., Bourne, N.E. et Wathes, D.C. (2013). Association between growth rates, age at first calving and subsequent fertility, milk production and survival in Holstein-Friesian heifers. *Open Journal of Animal Sciences, 3*(1), 1-12. http://dx.doi.org/10.4236/ojas.2013.31001

Cortese, V.S. (2009). Neonatal Immunology. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *25*(1), 221-227. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.10.003

Costa, A., Boselli, C. et De Marchi, Massimo. (2021). Effect of body weight and growth in early life on the reproductive performances of Holstein heifers. *Agriculture, 11*(2), 159. https://doi.org/10.3390/agriculture11020159

Costa, J.H.C., Meagher, R.K., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2015). Early pair housing increases solid feed intake and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science, 98*, 6381-6386. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9395

Cowles, K.E., White, R.A., Whitehouse, N.L. et Erickson, P.S. (2006). Growth characteristics of calves fed an intensified milk replacer. *Journal of Dairy Science, 89*, 4835-4845. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72532-2

Curtis, G., McGregor Argo, C., Jones, D. et Grove-White, D. (2018). The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle, *PLoS ONE, 13*(2), e0191687. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191687

Dado-Senn, B., Acosta, L.V., Rivera, M.T., Field, S.L., Marrero, M.G., Davidson, B.D., Tao, S., Fabris, T.F., Ortiz-Colòn., Dahl, G.E. et Laporta, J. (2020). Pre- and postnatal heat stress abatement affects dairy calf thermoregulation and performance. Journal of Dairy Science, 103(5), 4822-4837. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17926

DeNise, S.K., Robinson, J.D., Stott, G.H. et Armstrong, D.V., (1989). Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, *72*, 552-554. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79140-2

de Passillé, A.M.B. (2001). Sucking motivation and related problems in calves. *Applied Animal Behaviour Science, 72*, 175-187. 10.1016/S0168-1591(01)00108-3

de Passillé, A.M., Marnet, P.-G., Lapierre, H. et Rushen, J., (2008). Effects of Twice-Daily Nursing on Milk Éjection and Milk Yield During Nursing and Milking in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science, 91*, 1416-1422, https://doi.org/10.3168/jds.2007-0504

de Passillé, A.M. et Rushen, J. (2016). Using automated feeders to wean calves fed large amounts of milk according to their ability to eat solid feed, *Journal of Dairy Science, 99*, 3578-3583. https://doi.org/10 .3168/jds.2015-10259.

de Paula Vieira, A., Guesdon, V., de Passillé., A.M., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2008). Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, *109*, 180-189. 10.1016/j.applanim.2007.03.006

de Paula Vieira, A., von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2010). Effects of pair versus single housing on performance and behaviour of dairy calves before and after weaning from milk. *Journal of Dairy Science, 93*, 3079-3085. doi: 10.3168/jds.2009-2516

Diaz, M. C., Van Amburgh, Smith, J.M., Kelsey, J.M. et Hutten, E.L. (2001). Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *Journal of Dairy Science, 84*(4), 830-42. 0.3168/jds.S0022-0302(01)74541-9

Dobos, R.C., Nandra, K.S., Riley, K., Fulkerson, W.J., Lean, I.J. et Kellaway, R.C. (2000). The effect of dietary protein level during the pre-pubertal period of growth on mammary gland development and subsequent milk production in Friesian heifers. *Livestock Production Science, 63*(3), 235-243. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00137-2

Drackley J.K. (2001). Influence of early nutrition on growth and body composition of dairy calves. in: Proc. Cornell Conference for Feed Manufacturers, Ithaca, NY

Drackley, J.K., (2008). Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 24*(1), 55-86. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.01.001

Drackley, J.K. (2012, novembre). L'alimentation des jeunes veaux: un outil pour améliorer la future productivité. Communication présenté au Symposium sur les Bovins Laitiers, Drummondville,Québec. https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/documents/Drackley.pdf

Drackley, J.K., (2021). NASEM Nutrient requirements of Dairy cattle: dry cows, calves and heifers. https://balchem.com/animal-nutrition-health/wp-content/uploads/sites/3/2021/09/Drackley-2021-NRC-Dry-Cows-Calves-and-Heifers.pdf

Drackley, J.K., Pollard, B.C., Dann, H.M. et Stamey, J.A. (2007). First-lactation milk production for cows fed control or intensified milk replacer programs as calves. *Journal of Dairy Science, 90*, 779.

Eastham, N.T., Coates, A., Cripps. P., Richardson, H., Smith, R et Oikonomou, G. (2018). Associations between age at first calving and subsequent lactation performance in UK Holstein and Holstein-Friesian dairy cows, *PLoS ONE, 13*(6), e0197764. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197764

Eckert, E., Brown, H.E., Leslie, K.E., DeVries, T.J. et Steele, M.A. (2015). Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of Dairy Science, 98*(9), 6315-6326. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9062

Ellingsen, K., Mejdell, C.M., Ottesen, n., Larsen, S., Grondahl, A.M. (2016). The effect of large milk meals on digestive physiology and behaviour in dairy calves. *Physiology and Behavior, 154*, 169-174. http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.11.025

Ettema, J.F. et Santos, J.E.P. (2004). Impact of age at first calving on lactation, reproduction, health and income in first-parity Holsteins on commercial farms. *Journal of Dairy Science, 87*(8), 2730-2742. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73400-1

Flower, F.C. et Weary, D.M. (2001). Effects of early separation on the dairy cow and calf: 2. Separation at 1 day and 2 weeks after birth. *Applied Animal Behavior Science, 70*(4), 275-284. 10.1016/s0168-1591(00)00164-7

Flower, F.C. et Weary, D.M. (2003). The effects of early separation on the dairy cow and calf. Animal Welfare, 12(3), 339-348.

Fonty, G., Gouet, P., Ratefiarivelo, H. et Jouany, J.P. (1988). Establishment of *Bacteroides succinogenes* and measurement of the main digestive parameters in the rumen of gnotoxenic lambs. *Canadian Journal of Microbiology, 34*(8), https://doi.org/10.1139/m88-166

Furman-Fratczak, K., Rzasa, A., et Stefaniak, T. (2011). The influence of colostral immunoglobulin concentration in heifer calves' serum on their health and growth. *Journal of Dairy Science, 94*(11), 5536–43. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3253

Garber, L.P., Salman, M.D., Hurd, H.S., Keefe, T. et Schlater, J.L. (1994). Potential risk factors for Cryptosporidium infection in dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 205*(1), 86-91.

Garcia, M., Montgomery, S.R., Moisa, S.J., Hanzlicek, G.A., Hulbert, L.E. et Bradford, B.J. (2021). Effects of milk feeding strategies on short- and long-terme productivity of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science, 104*(4), 4303-4316. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19364

Geiger, A.J., Parsons, C.L.M., James, R.E. et Akers, R.M. (2016). Growth, intake, and health of Holstein heifer calves fed an enhanced preweaning diet with or without postweaning exogenous estrogen. *Journal of Dairy Science*, *99*, 3995-4004. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10405

Ghoraishy, S.H. et Rokouei, M. (2013). Impact of birth weight of Iranian Holstein calves on their future milk production and reproductive traits. *Journal of Livestock Science and Technologies, 1*(2), 39-44.

Godden, S.M., Fetrow, J.P, Feirtag, J.M., Green, L.R. et Wells, S.J. (2005). Economic analysis of feeding pasteurized nonsaleable milk versus conventional milk replacer to dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *226*(9), 1547-1554. https://doi-org.acces.bibl.ulaval.ca/10.2460/javma.2005.226.1547

Godden, S.M., Lombard, J.E. et Woolums, A.R. (2019). Colostrum Management for Dairy Calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 35*(1), 535-556. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005

Gorden, P.J. et Plummer, P. (2010). Control, Management, and Prevention of Bovine Respiratory Disease in Dairy Calves and Cows. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, *26*(2), 243-259. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.03.004

Hammon, H.M., Liermann, W., Frieten, D. et Koch, C. (2020). Review: Importance of colostrum supply and milk feeding intensity on gastrointestinal and systemic development in calves. *Animal*, *14*(1), 133-143, https://doi.org/10.1017/S1751731119003148

Hammon, H. M., Schiessler, G., Nussbaum, A., & Blum, J. W. (2002). Feed intake patterns, growth performance, and metabolic and endocrine traits in calves fed unlimited amounts of colostrum and milk by automate, starting in the neonatal period. *Journal of Dairy Science*, *85*(12), 3352–62. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74423-8

Harrison, R., Reynolds, I., & Little, W. (1983). A quantitative analysis of mammary glands of dairy heifers reared at different rates of live weight gain. *Journal of Dairy Research, 50*(4), 405-412. doi:10.1017/S0022029900032635

Haworth, G.M., Tranter, W.P., Chuck, J.N., Cheng, Z. et Wathes, D.C. (2008). Relationships between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows. *VetRecord*, *162*(20), 643-647. **https://doi.org/10.1136/vr.162.20.643**

Heinrichs, A.J. (1993). Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science, 76*, 3179-3187. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77656-0

Heinrichs, A.J. et Heinrichs, B.S. (2011) A prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd. *Journal of Dairy Science, 94*, 336-341. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3170

Hill, T.M., Knowlton, K.F., Daniels, K.M., James, R.E., Pearson, R.E. et Capuco, A.V. (2008). Effects of milk replacer composition on growth, body composition, and nutrient excretion in preweaned Holstein heifers. *Journal of Dairy Science, 91*, 3128-3137. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0860

Hodgson, J. (1971). The development of solid food intake in calves 5. The relationship between liquid and solid food intake. *Animal Science, 13*(4), 593-597. https://doi.org/10.1017/S0003356100000052

Hornick, J.L., Van Eanaeme, C., Gérard, O., Dufrasne, I. et Istasse, L. (2000). Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology, 19*, 121-132. https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2

Huber, J. T., Silva, A. G., Campos, O. F., & Mathieu, C. M. (1984). Influence of feeding different amounts of milk on performance, health, and absorption capability of baby calves. *Journal of Dairy Science*, *67*(12), 2957–63. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81659-8

Hulbert, L.E., Cobb, C.J., Carrol, J.A. et Ballou, M.A. (2011). Effects of changing milk replacer feedings from twice to once daily on Holstein calf innate immune responses before and after weaning. *Journal of Dairy Science, 94*, 2557-2565. doi:10.3168/jds.2010-3980

Jami. E., Israel, A., Kotser, A. et Mizarhi, I. (2013). Exploring the bovine rumen bacterial community from birth to adulthood. *The ISME Journal, 7*, 1069-1079. https://doi.org/10.1038/ismej.2013.2

Jammes, H. et Djiane, J. (1988). Le développement de la glande mammaire et son contrôle hormonal dans l'espèce bovine. *INRA Productions Animales, 1*(5), 299-310.

Jasper., J., Budzynska, M. et Weary, D.M. (2008). Weaning distress in dairy calves: Acute behavioural responses by limit-fed calves. *Applied Animal Behaviour Science, 110*, 136-143. 10.1016/j.applanim.2007.03.017

Jasper, J. et Weary, D.M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science, 85*(11), 3054-8. 10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9

Kaufhold, J.N., Hammon, H.M., Bruckmaier, R.M., Breier, B.H. et Blum, J.W. (2000). Postpandrial metabolism and endocrine status in veal calves fed at different frequencies, *Journal of Dairy Science, 83*(11), 2480-2490. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75140-X

Kesser, J., Korst, M., Koch, C., Romberg, F.-J., Rehage, J., Müller, U., Schmicke, M., Eder, K., Hammon, H.M., Sadri, H. et Sauerwein, H. (2017). Different milk feeding intensities during the first 4 weeks of rearing dairy calves: Part 2: Effects on the metabolic and endocrine status during calfhood and around the first lactation. *Journal of Dairy Science*. *100*, 3109-3125. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11595

Khan, M.A., Bach, A., Weary, D.M. et von Keyserlingk, M.A.G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, *99*(2), 885-902. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9975

Khan, M.A., Lee, H.J., Lee, W.S., Kim, H.S., Kim, S.B., Ki, K.S., Ha, J.K., Lee, H.G. ET Choi, Y.J. (2007). Pre-and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science, 90*, 876-885. 10.3168/jds.S0022-0302(07)71571-0

Khan, M.A., Weary, D.M., von Keyerslingk, M.A.G. (2011a). Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *Journal of Dairy Science, 94*, 3347-3553. doi:10.3168/jds.2010-3871

Khan, M.A., Weary, D.M. et von Keyserlingk, M.A.G. (2011b). Invited review*:* Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science, 94*,1071-1081. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3733

Kirchgessner, M. (2004). Animal nutrition. Guidelines for study, advisory and practical applications. 11ed. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20053124035

Klein-Jöbstl, D., Iwersen, M. et Drillich, M. (2014). Farm characteristics and calf management practices on dairy farms with and without diarrhea: A case-control study to investigate risk factors for calf diarrhea. *Journal of Dairy Science, 97*(8), 5110-5119. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7695

Knight, C.H. et Peaker, M. (1982). Development of the mammary gland (2, 65). https://doi.org/10.1530/jrf.0.0650521

Korst, M., Koch, C., Kesser, J., Mûller, U., Romberg, F.-J., Rehage, J., Eder, K. et Sauerwein, H. (2017). Different milk feeding intensities during the first 4 weeks of rearing in dairy calves: Part 1: Effects on performance and production from birth over the first lactation. *Journal of Dairy Science*, *100*, 3096-3108. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11594

Lactanet, (2020). L'Évolution de la production laitière québécoise 2020. https://lactanet.ca/wp-content/uploads/2021/05/2020-evolution-laitiere.pdf

Lammers, B.P., Heinrichs, A.J. et Kensinger, R.S. (1999). The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on growth, feed efficiency, and blood parameters. *Journal of Dairy Science, 82*(8), 1746-1752. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75405-6

Leaver, J.D. et Yarrow, N.H. (1972). Rearing of dairy cattle 1. Type and level of milk substitute offered once daily to calves. *Animal Science, 14*(2), 155-159. https://doi.org/10.1017/S0003356100010825

Lombard, J., Urie, N., Garry, F., Godden, S., Quigley, J., Earleywine, T., McGuirk, S., Moore, D., Branan, M., Chamorro, M., Smith, G., Shivley, C., Catherman, D., Haines, D., Heinrichs, A. J., James, R., Maas, J., & Sterner, K. (2020). Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the united states. *Journal of Dairy Science*, *103*(8), 7611–7624. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17955

López, E., Véliz, F.G., Carrillo, E., De Santiago, A. Garcia, J.E. et Mellado, M. (2018). Effect of birth weight, weaning weight and preweaning weight gain on fertility of Holstein heifers under hot Mexican conditions. *Slovenian Veterinary Research, 55*(1), 35-42. DOI 10.26873/SVR-394-2017

Lorenz, I., Mee, J.F., Earley, B. et More, S. (2011). Calf health from birth to weaning. I. General aspects of disease prevention. *Irish Veterinary Journal, 64*(1), 1. 10.1186/2046-0481-64-10

Lundborg, G.K., Svensson, E.C. et Oltenacu, P.A. (2005). Herd-level risks factors for infectious diseases in Swedish dairy calves aged 0-90 days. *Preventive Veterinary Medecine, 68*(2-4), 123-143. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.11.014

Maatje, K., Verhoeff, J., Kremer, W.G.J., Cruijsen, A.L.M. et van den Ingh, T.S.G.A.M. (1993). Automated feeding of milk replacer and health control of group-housed veal calves. *Vet Record. 133*, 266-270.

Marrero, M.G., Dado-Senn, B., Field, S.L., Yang, G., Driver, J.P. et Laporta, J., (2021). Chronic heat stress delays immune system development and alters serotonin signaling in pre-weaned dairy calves. *Plos One, 16*(6), e0252474 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252474

Maunsell, F. et Donovan, A. (2008). Biosecurity and risk management for dairy replacements. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 24*(1), 155-190. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.007

Mee, J.F. (2004). Managing the dairy cow at calving time. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 20*(3), 521-546. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.001

Mee, J.F. (2008). Newborn Dairy Calf Management. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 24, 1-17. 10.1016/j.cvfa.2007.10.002

Meyer, M.J., Capuco, A.V., Ross, D.A., Lintault, L.M. et Van Amburgh, M.E. (2006). Developmental and Nutritional Regulation of the Prepubertal Heifer Mammary Gland: I. Parenchyma and Fat Pad Mass and Composition. *Journal of Dairy Science, 89*, 4289-4297. 10.3168/jds.S0022-0302(06)72475-4

Moallem, U., Werner, D., Lehrer, H., Zachut, M., Livshitz, L., Yakoby, S. et Shamay, A. (2010). Long-term effects of ad libitum whole milk prior to weaning and prepubertal protein supplementation on skeletal growth rate and first-lactation milk production. *Journal of Dairy Science, 93*(6), 2639-2650. https://doi.org/10.3168/jds.2009-3007

Morin, I. (2021, 27 septembre). Disinfecting the Navel: Get off to a good start. https://lactanet.ca/en/disinfecting-navel-get-off-good-start/

Nonnecke, B.J., Foote, M.R., Smith, J.M., Pesch, B.A. et Van Amburgh, M.E. (2003). Composition and functional capacity of blood mononuclear leukocyte populations from neonatal calves on standard and intensified milk replacer diets. *Journal of Dairy Science, 86*(11), 3592-604. 10.3168/jds.S0022-0302(03)73965-4

NRC: Nutrient requirements of dairy cattle (National Research Council). 7 edition. Washington, DC: National Academy Press; 2001.

Pellerin, D., Vasseur, E., de Passillé, A.M., Rushen, J., Lefebvre, D., Fecteau, G., Bouffard, V., Carbonneau, É. (Université Laval, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Valacta et Université de Montréal). (2010). Évaluez vos pratiques d'élevage. Un outil d'évaluation de la régie des veaux et génisses de remplacement adapté à vos besoins.

Quaile, E. 2015. Relation entre qualité du colostrum et transfert d'immunité passive en elevages bovins allaitants et laitiers : évaluation à partir de 250 cas. Thèse de doctorat. Université Paul-Sabatier de Toulouse. Toulouse, France

Quigley, J.D., Caldwell, L.A., Sinks, G.D. et Heitmann, R.N. (1991). Changes in blood glucose, nonesterified fatty acids, and ketones in response to weaning and feed intake in young calves. *Journal of Dairy Science, 74*(1), 250-257. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78167-8

Radcliff, R.P., Vandehaar, M.J., Chapin, L.T., Pilbeam, T.E.., Beede, D.K., Stanisiewski, E.P. et Tucker, H.A. (2000). Effects of diet and injection of bovine somatotropin on prepubertal growth and first-lactation milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science, 83*, 23–29. 10.3168/jds.S0022-0302(00)74850-8

Radostits, G. (2001). Herd health: Food Animal Production Medecine. 3rd ed. W.B. Saunders Company, Philadelphia, PA

Raeth-Knight, M., Chester-Jones, H., Hayes, S., Linn, J., Larson, R., Ziegler, D., Ziegler, B. et Broadwater, N. (2009). Impact of conventional or intensive milk replacer

programs on Holstein heifer performance through six months of age and during first lactation. *Journal of Dairy Science, 92*, 799-809. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1470

Reinhardt, V. et Reinhardt, A. (1981). Cohesive relationship in a cattle herd. *Behaviour. 77*,121-151. 10.1163/156853981X00194

Rincker, L.E.D., VandeHaar, M.J., Wolf, C.A., Liesman, J.S., Chapin, L.T. et Weber Nielsen, M.S. (2011). Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics, *Journal of Dairy Science, 94*, 3554-3567. doi: 10.3168/jds.2010-3923

Roth, B.A., Barth, K., Gygax, L. et Hillmann, E. (2009a). Influence of artificial vs. mother-bonded rearing on sucking behaviour, health and weight gain in calves. Applied Animal Behaviour Science, 119(3-4), 143-150, https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.03.004

Roth, B.A., Hillmann, E., Stauffacher, M. et Keil, N. (2008). Improved weaning reduces cross-suckling and may improve weight gain in dairy calves. *Applied Animal Behavuour Science, 111*, 251-261.

Roth, B.A., Keil. N.M., Gygax, L. et Hillmann, E. (2009b). Influence of weaning method on health status and rumen development in dairy calves. *Journal of Animal Science, 92*, 645-656. doi:10.3168/jds.2008-1153

Roy, J.H.B., Stobo, I.J.F., Gaston, H.J., Ganderton, P., Shotton, S.M. et Thompson, S.Y. (1971). The nutrition of the veal calf 4. The effect of offering roughage on health and performance. *British Journal of Nutrition, 26*(3), 353-362. https://doi.org/10.1079/BJN19710043

Sejrsen, K., Hubert, J.T. et Ackers, R.M. (1982). Influence of nutrition on mammary development in pre and post pubertal heifers. *Journal of Dairy Science, 69*, 1528-1535. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82268-6

Sejrsen, K., Purup, S., Vestergaard, M. et Foldager, J. (2000). High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology*, *19*,93-104. https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00070-9

Shamay, A., Werner, D., Moallem, U., Barash, H., & Bruckental, I. (2005). Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, *88*(4), 1460–1469. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72814-9

Shivley, C.B., Lombard. J.E., Urie, N.J., Kopral, C.A., Santin, M., Earleywine, T.J., Olsen, J.D. et Garry, F.B. (2018). Preweaned heifer management on US dairy operations: Part VI. Factors associated with average daily gain in preweaned dairy heifer calves.

Journal of Dairy Science, 101(10), 9245-9258. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14022

Sinha, Y.N. et Tucker, H.A. (1969). Mammary development and pituitary levels of heifers from birth through puberty and during the oestrus. *Journal of Dairy Science, 52*, 507-512. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86595-1

Sjaastad, O.V., Sand, O. et Hove, K. (2010). Physiology of Domestic Animals. 2e edition. Scandinavian Veterinary Press, Oslo

Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R. W., & Van, A. M. E. (2012). Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, *95*(2), 783–93. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4391

Soberon, F., et Van Amburgh, M.E. (2013, février). LACTATION BIOLOGY SYMPOSIUM: The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: A meta-analysis of current data, *Journal of Animal Science*, 91(2), 706–712, https://doi.org/10.2527/jas.2012-5834

Stamey, J.A., Janovich, N.A., Kertz, A.F. et Drackley, J.K. (2012). Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *Journal of Dairy Science, 95*, 3327-3336. https://doi.org/10.3168/jds.2011-5107

Steele, M. A. (2019). 404 Awardee Talk - Healthy gut, healthy calf, productive life. Journal of Animal Science, 97(Suppl 3), 163. https://doi.org/10.1093/jas/skz258.335

Steele, M.A., Doelman, J.H., Leal, L.N., Soberon, F., Carson, M. et Metcalf, J.A. (2017). Abrupt weaning reduces postweaning growth and is associated with alterations in gastrointestinal markers of development in dairy calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning period. *Journal of Dairy Science, 100*, 5390-5399. https://doi.org/10.3168/jds.2016-12310

Stěhulová, Ilona, Lidfors, L. et Špinka, M. (2008). Response of dairy cows and calves to early separation: Effect of calf age and visual and auditory contact after separation. Applied *Animal Behaviour Science, 110*, 144-165. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.028

Svensson, C., Lundborg, K., Emanuelson, U. et Olsson, S.-O. (2003). Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases. *Preventive Veterinary Medecine*. *58*(3-4), 179-97. doi: 10.1016/s0167-5877(03)00046-1

Tamate. H., McGilliard, A.D., Jacobson, N.L. et Getty, R. (1962). Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *Journal of Dairy Science. 45*, 408-420.

Terré, M., Devant, M. et Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhances growth deeding program during the preweaning period. *Livestock Science, 105*(1-3), 109-119. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.05.001

Terré, M., Devant, M. et Bach, A. (2007). Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. *Livestock Science, 110,* 82-88. doi:10.1016/j.livsci.2006.10.001

Terré, M., Tejero, C. et Bach, A. (2009). Long-term effects on heifer. Performance of an enhanced-growth feeding programme applied during the preweaning period, *Journal of Dairy Research, 76*(3), 331-339. doi:10.1017/S0022029909004142

Torsein, M., Lindberg, A., Sandgren, C.H., Waller, K.P., Törnquist, M. et Svensson, C. (2011). Risk factors for calf mortality in large Swedish dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine, 99*(2.4), 136-147. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.001

Trotz-Williams, L.A., Wayne Martin, S., Leslie, K.E., Duffield, T., Nydam, D.V. et Peregrine, A.S. (2007). Calf-level risk factors for neonatal diarrhea and shedding of Cryptosporidium parvum in Ontario dairy calves. *Preventive Veterinary Medecine, 82*(1-2), 12-28. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.003

Urie, N. J., Lombard, J. E., Shivley, C. B., Kopral, C. A., Adams, A. E., Earleywine, T. J., Olson, J. D., & Garry, F. B. (2018a). Preweaned heifer management on us dairy operations: part I. Descriptive characteristics of prewaeaned heifer raising practices. *Journal of Dairy Science*, *101*(10), 9168-9184. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14010

Urie, N. J., Lombard, J. E., Shivley, C. B., Kopral, C. A., Adams, A. E., Earleywine, T. J., Olson, J. D., & Garry, F. B. (2018b). Preweaned heifer management on us dairy operations: part v. factors associated with morbidity and mortality in preweaned dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science, 101*(10), 9229–9244. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14019

Vasseur, E., Borderas, F., Cue, R.I., Lefebvre, D., Pellerin, D., Rushen, J., Wade, K.M. et de Passillé, A.M. (2010). A survey of dairy calf management practices in Canada that affect animal welfare, *Journal of Dairy Science, 93*(3), 1307-1316. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2429

Vasseur, E., D. Pellerin, Am de Passillé, C. Winckler, Bj Lensink, U. Knierim, et J. Rushen. (2012). « Assessing the Welfare of Dairy Calves: Outcome-Based Measures of Calf Health versus Input-Based Measures of the Use of Risky Management Practices ». *Animal Welfare, 21*(1), 77-86. doi: 10.7120/096272812799129439.

Van De Stroet, D., Calderón, D.J., Stalder, K., Heinrichs, A. et Dechow, C. (2016). Association of calf growth traits with production characteristics in dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 99,* 8347-8355. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10738

Van Amburgh, M.E., Soberon, F., Raffrenato, E., Karses, J. et Everett, R.W. (2011). Taking the long view: Treat them nice as babies and they will be better adults. https://doi.org/10.21423/aabppro20114001

Van Amburgh, M. et Drackley, J. (2005). Current perspectives on the energy and protein requirements of the pre-weaned calf. Dans *Calf and heifer rearing: principles of rearing the modern dairy heifer from calf to calving.* 60th University of Nottingham Easter School in Agricultural Science, Nottingham, UK. 23rd- 24th March, pp.67-82 ref.34

von Kerserlingk., M.A.G., Rushen, J., De Passillé, A.M.B. et Weary, D.M. (2009). Invited review: The welfare of dairy cattle-Key concepts and the role of science. *Journal of Dairy Science, 92,* 4101-4111. 10.3168/jds.2009-2326

von Keyserlingk, M.A.G. et Weary, D.M. (2007). Maternal behaviour in cattle: A review. *Hormones and Behavior, 52,*106-113. 10.1016/j.yhbeh.2007.03.015

Weary, D.M., Jasper, J. et Hötzel, M.J. (2008). Understanding weaning distress. *Applied Animal Behaviour Science, 110*(1-2), 24-21. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.025

Weaver, D. M., Tyler, J. W., VanMetre, D. C., Hostetler, D. E., & Barrington, G. M. (2000). Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 14*(6), 569–577. **https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2000.tb02278.x**

Wells, S.J. Dargatz, D.A. et Ott, S.L. (1996). Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the United States. *Preventive Veterinary Medicine, 29*(1): 9-19. https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01061-6

Winder, C.B., Bauman, C.A., Duffield, T.F., Barkena, H.W., Keefe, G.P., Dubuc, J., Uehlinger, F. et Kelton, D.F. (2018). Canadian National Dairy Study: Heifer calf management. *Journal of Dairy Science, 101*(11), 10565-10579. https://doi.org/10.3168/jds.2018-14680

Windeyer, M.C., Leslie, K.E., Godden, S.M., Hodgins, D.C., Lissemore, K.D., LeBlanc, S.J. (2014). Factors associated with morbidity, mortality, and growth of dairy heifer calves up to 3 months of age. *Preventive Veterinary Medecine. 113*(2), 231-240. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.10.019

Yavuz, E., Todorov, N., Ganchev, G. et Nedelkov, K. (2015). The effect of feeding different milk programs on dairy calf growth, health and development. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21*(2), 384-393.

Zanton, G.I. et Heinrichs, A.J. (2005). Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first lactation production. *Journal of Dairy Science*, *88*, 3860-3867. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73071-X

Annexes

Annexe 1. Résultats de productivité en première lactation

Traitement	ReCan[1]	AdLib[2]	SE	*P-value*
Toutes les génisses				
n	55	66		
Lait à 270 jours (kg)	8168	8219	218	0,83
Gras (%)	4,12	4,08	0,068	0,64
Gras à 270 jours (kg)	333	333	8,0	0,94
Protéine (%)	3,20	3,21	0,027	0,75
Protéine à 270 jours (kg)	259	262	6,7	0,67
Lait corrigé pour l'énergie[3]	8147	8168	201,1	0,92
Génisses avec une consummation minimale de 7,5 L/j				
n	36	35		
Lait à 270 jours (kg)	8486	8349	312,0	0,63
Gras (%)	4,11	4,03	0,083	0,39
Gras à 270 jours (kg)	347	335	10,7	0,29
Protéine (%)	3,18	3,21	0,031	0,52
Protéine à 270 jours (kg)	269	267	9,2	0,80
Lait corrigé pour l'énergie[3]	8464	8264	273,0	0,44

[1]ReCan: Génisses suivant la recommandation canadienne en termes de quantité de lactoremplaceur
[2]AdLib: Génisses ayant un accès *ad libitum* au lactoremplaceur
[3]Lait corrigé pour l'énergie: [0.337 + (0.116 × % gras) + (0.06 × % protéine)] × lait (kg))

Annexe 2. Graphiques des courbes de lait corrigé pour l'énergie en fonction des différents traitements

Présentation des résultats de courbes de lactation du lait corrigé pour l'énergie de toutes les génisses de l'étude

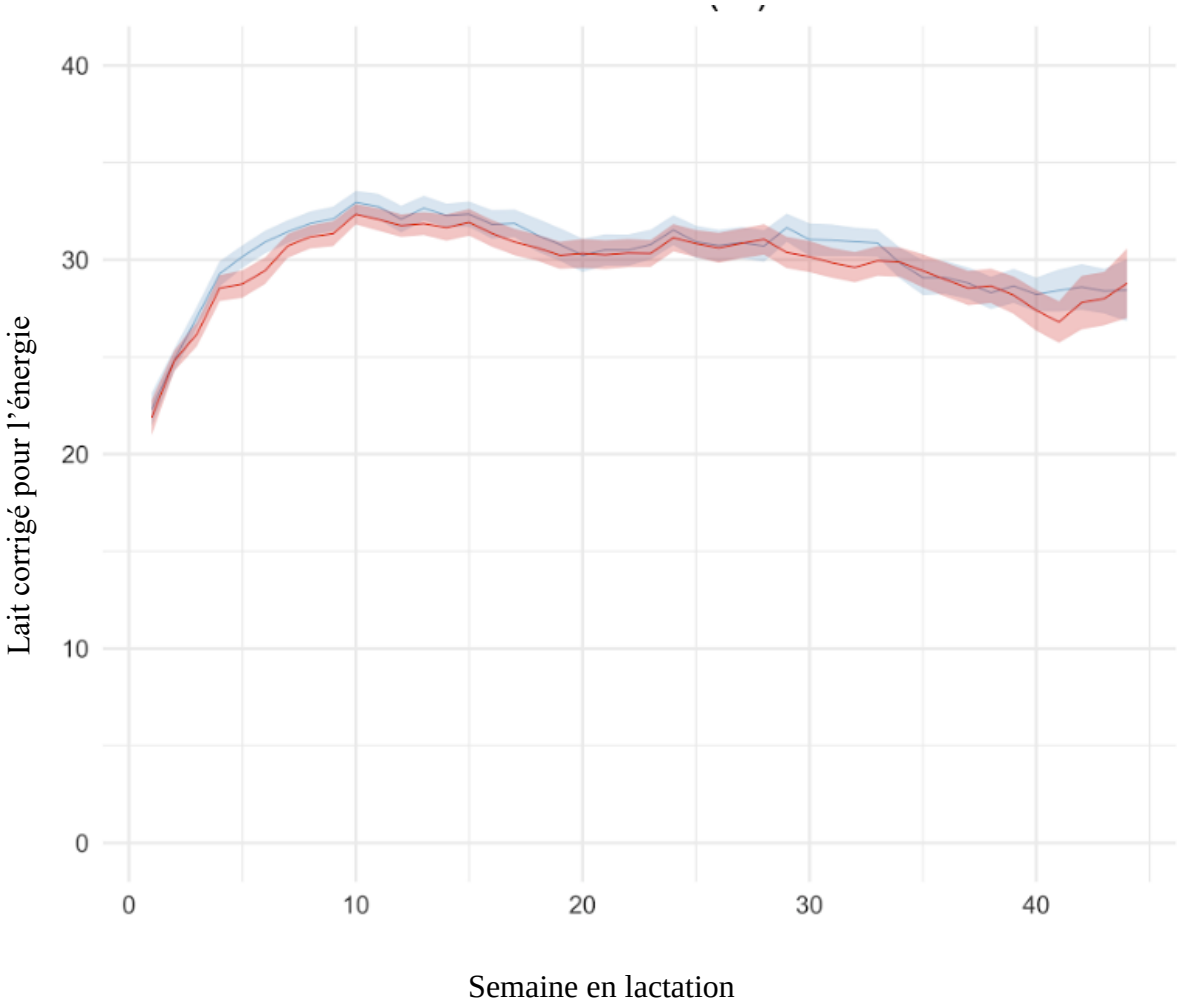


Figure 24 La ligne rouge représente les génisses sous le traitement AdLib et la ligne bleue celles sous le traitement ReCan

Présentation des résultats de courbes de lactation du lait corrigé pour l'énergie des génisses ayant exprimé le traitement

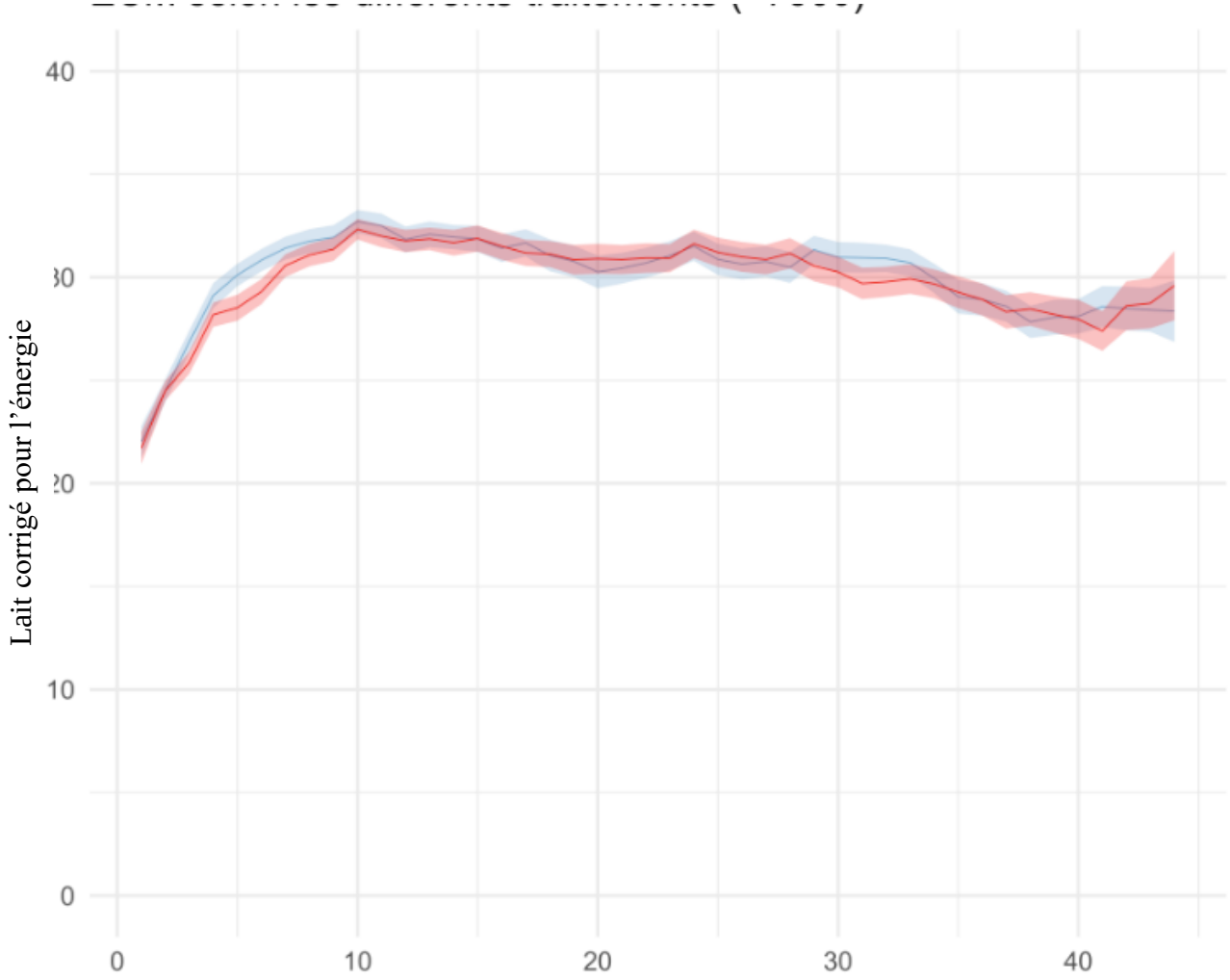


Figure 32 La ligne rouge représente les génisses sous le traitement AdLib et la ligne bleue celles sous le traitement ReCan