

Création d'un outil pédagogique permettant d'interpréter les étiquettes de lactoreplaceurs destinées à l'alimentation des veaux laitiers en agriculture conventionnelle afin d'assurer une croissance adéquate à moindre couts

Auteur : Fortier, Marie

Promoteur(s) : Bayrou, Calixte

Faculté : Faculté de Médecine Vétérinaire

Diplôme : Master en médecine vétérinaire

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/17911>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**CRÉATION D'UN OUTIL PÉDAGOGIQUE PERMETTANT
D'INTERPRÉTER LES ÉTIQUETTES DE
LACTOREMPLACEURS DESTINÉS À L'ALIMENTATION
DES VEAUX LAITIERS EN AGRICULTURE
CONVENTIONNELLE AFIN D'ASSURER UNE CROISSANCE
ADÉQUATE À MOINDRE COÛTS**

***CREATION OF AN EDUCATIONAL TOOL TO INTERPRET
THE LABELS OF MILK REPLACERS INTENDED FOR THE
FEEDING OF DAIRY CALVES IN CONVENTIONAL
AGRICULTURE IN ORDER TO ENSURE ADEQUATE GROWTH
AT A LOWER COST***

Marie FORTIER

Travail de fin d'études

Présenté en vue d'obtenir le grade
de Médecin Vétérinaire

Année académique 2022/2023

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

**CRÉATION D'UN OUTIL PÉDAGOGIQUE PERMETTANT
D'INTERPRÉTER LES ÉTIQUETTES DE
LACTOREMPLACEURS DESTINÉS À L'ALIMENTATION
DES VEAUX LAITIERS EN AGRICULTURE
CONVENTIONNELLE AFIN D'ASSURER UNE CROISSANCE
ADÉQUATE À MOINDRE COUTS**

***CREATION OF AN EDUCATIONAL TOOL TO INTERPRET
THE LABELS OF MILK REPLACERS INTENDED FOR THE
FEEDING OF DAIRY CALVES IN CONVENTIONAL
AGRICULTURE IN ORDER TO ENSURE ADEQUATE GROWTH
AT A LOWER COST***

Marie FORTIER

Tuteur : Dr Calixte BAYROU

Travail de fin d'études

Présenté en vue d'obtenir le grade
de Médecin Vétérinaire

Année académique 2022/2023

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

CRÉATION D'UN OUTIL PÉDAGOGIQUE PERMETTANT D'INTERPRÉTER LES ÉTIQUETTES DE LACTOREMPLACEURS DESTINÉS À L'ALIMENTATION DES VEAUX LAITIERS EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE AFIN D'ASSURER UNE CROISSANCE ADÉQUATE À MOINDRE COUTS

Objectif du travail

L'objectif de ce travail est de développer un outil pédagogique basé sur des cartes "flash" et un document Excel pour aider les éleveurs à choisir le substitut de lait maternel idéal qui répond aux besoins des veaux tout en respectant leurs capacités de digestion, tout en tenant compte des coûts. Pour répondre à cette demande, nous avons analysé en détail la digestion et l'assimilation des différents composants présents dans les formulations des lactoreplaceurs actuellement disponibles sur le marché.

Résumé

Dans l'ère actuelle, les fermes laitières sont confrontées à la pression de produire davantage tout en minimisant les coûts. Pour éviter toute perte économique, il est essentiel d'assurer un développement optimal des génisses laitières dans l'objectif d'obtenir 95% de leur poids adulte à 24 mois et d'ainsi assurer un vêlage au même âge. Un gain quotidien journalier de 750 g/jour influence également de manière positive la production laitière en première lactation.

Pour répondre à ces attentes, il est nécessaire de soigner la nutrition du futur cheptel laitier dès le premier mois de vie. Afin de réduire ces coûts, des substituts de lait, appelés lactoreplaceurs, ont été développés depuis les années 1950 pour offrir une alternative économique au lait entier. Cependant, le choix de ce dernier n'est pas toujours facile. Ce travail a donc pour but de créer un outil pédagogique sur base de cartes « flash » et d'un document excel pour aider les éleveurs à choisir le lactoreplaceur idéal couvrant les besoins des veaux et respectant ses capacités de digestion et en tenant compte des coûts. Pour répondre à cette attente, nous avons détaillé la digestion et l'assimilation des différents constituants retrouvés dans les formulations de lactoreplaceurs actuellement disponible sur le marché.

CREATION OF AN EDUCATIONAL TOOL TO INTERPRET THE LABELS OF MILK REPLACERS INTENDED FOR THE FEEDING OF DAIRY CALVES IN CONVENTIONAL AGRICULTURE IN ORDER TO ENSURE ADEQUATE GROWTH AT A LOWER COST

Aim of the work

The objective of this study is to develop an educational tool based on flashcards and an Excel document to assist farmers in selecting the ideal milk replacer that meets the nutritional needs of calves while considering their digestive capabilities and cost factors. To address this objective, we conducted a detailed analysis of the digestion and assimilation processes of the various components found in the formulations of currently available milk replacers in the market.

Summary

In the current era, dairy farms are facing the pressure to produce more while minimizing costs. To avoid economic losses, it is essential to ensure optimal development of dairy heifers with the goal of reaching 95% of their adult weight at 24 months and thus ensuring calving at the same age. A daily gain of 750g/day also positively influences first lactation milk production. To meet these expectations, it is necessary to pay attention to the nutrition of the future dairy herd from the first month of life. In order to reduce costs, milk substitutes, called milk replacers, have been developed since the 1950s to offer a cost-effective alternative to whole milk. However, choosing the right milk replacer is not always easy. Therefore, the purpose of this study is to create an educational tool based on flashcards and an Excel document to help farmers choose the ideal milk replacer that meets the calves' needs, respects their digestive capacity, and takes costs into account. To meet this objective, we have provided a detailed explanation of the digestion and assimilation of the various components found in currently available milk replacer formulations on the market.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord, mon promoteur, le Docteur Calixte Bayrou pour sa disponibilité, ses conseils, son encouragement et son encadrement lors de la réalisation de ce TFE . Je le remercie également pour sa pédagogie et le savoir qu'il m'a apporté durant mon stage interne à la clinique bovine.

Je remercie de tout cœur mes parents pour leur soutien durant toutes ses années. Malgré les embûches, merci d'avoir continué à croire en moi et en mon rêve de devenir vétérinaire. Ma réussite est aussi la vôtre.

Je remercie également ma chère amie Caroline Ségard qui a permis que mes années étudiantes soient réellement plus belles.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction

1. Établissement et calculs des besoins physiologiques du veau en fonction de son poids et du gain quotidien souhaité

- 1.1. Définition et calcul de l'énergie métabolisable nécessaire à l'entretien et à la croissance du veau
- 1.2. Teneur protéique nécessaire à l'entretien et à la croissance du veau
 - 1.2.1. Acides aminés essentiels
- 1.3. Minéraux essentiels

2. Étude de la capacité physiologique de digestion du veau des protéines, matières grasses et glucides

- 2.1. Digestion des protéines
 - 2.1.1. Digestion des protéines coagulantes au sein de l'abomasum
 - 2.1.2. Digestion des protéines solubles
 - 2.1.3. Influence de l'origine des protéines et des traitements technologique sur la digestibilité des différentes protéines
- 2.2. Digestion des lipides
 - 2.2.1. Influence de la formation de coagulum au sein de la caillette de l'âge du veau sur la digestibilité de la matière grasse
 - 2.2.2. Influence de la structure des acides gras sur la digestibilité
 - 2.2.3. Influence de la technologie d'incorporation de la matière grasse dans l'aliment
- 2.3. Digestion des glucides
 - 2.3.1. Digestion du lactose
 - 2.3.2. Digestion de l'amidon et des disaccharides
 - 2.3.3. Diarrhées nutritionnelles provoquées par l'apport de sucres de substitution

3. **Composition des lactoreplaceurs en nutriments :**

3.1. Composition en produits laitiers

3.1.1. Poudre de lait écrémé

3.1.2. Lactosérum

3.1.3. La poudre de babeurre

3.2. Composition en matières grasses

3.3. Glucides entrant dans la composition des lactoreplaceurs

Matériel et méthodes

Résultats

Discussion

Bibliographie

ABBREVIATIONS

- **Gr** : gramme
- **GQM** : gain quotidien moyen
- **PV** : Poids vif
- **EM** : Énergie métabolisable
- **C.U.D** : Coefficient d'utilisation digestive
- **LR** : Lactoreplaceur

Introduction

Comme prédit par A.J. Heinrichs en 1993, l'ère actuelle contraint les exploitations laitières à une pression croissante pour augmenter sa production tout en minimisant les coûts. (Heinrichs, 1993) Dans ce contexte, il est essentiel d'assurer une gestion efficace du cheptel laitier dès la naissance pour répondre à ces exigences financières. Des études ont démontré que la croissance optimale des génisses en pré-sevrage, avec un gain quotidien d'environ 750 grammes, a un impact positif sur leur production laitière lors de leur première lactation. (Gerrits, 2019) Un tel gain quotidien moyen permet de remplir également l'objectif économique d'obtenir un développement de 95% de leur poids adulte à 24 mois et permettre un premier vêlage au même âge (Guyot H, 2021, Cours magistral « Gestion de la santé et des productions des ruminants »).

Cependant, il est difficile d'atteindre une telle croissance en pratique. De fait, au cours du premier mois de vie, les jeunes veaux doivent faire face à une forte pression infectieuse, tandis que leur système immunitaire n'est pas encore complètement mature. (McGuirk, 2008) La combinaison de ces facteurs, rend crucial de mettre en place des stratégies efficaces d'alimentation lactée, répondant aux besoins énergétiques du veau pour son entretien et sa croissance. Ainsi, pour un veau de 50 kg dont le gain quotidien moyen désiré est de 750 grammes, un apport énergétique métabolisable total d'environ 5500 kcal par jour est nécessaire pour soutenir son entretien et sa croissance (Bryant et al., 1967, Ruminant Nutrition).

En ce qui concerne les protéines, le veau a un besoin important d'environ 220 grammes par jour. En tenant compte du fait qu'un litre de lait contient en moyenne 26% de protéines, 30% de matière grasse et 34% de lactose en matière sèche, cela fournit environ 700 kcal par litre. Pour répondre aux besoins énergétiques et protéiques définis, cela équivaut à une consommation quotidienne d'environ 8 litres de lait, ce qui représente environ 16% du poids corporel du veau. (Cours de gestion partie néonatalogie Rollin). Etant donné le prix actuel du lait rémunéré à environ 47 cents par litre ("Prix du lait : Bel et l'APBO trouvent un accord pour 2023 | Réussir lait," n.d.) (Reussir.fr), cela représente une dépense de 3,76 € par jour. Cette dépense quotidienne justifie les affirmations de Palczynski et ses collaborateurs, selon lesquelles l'alimentation lactée en pré-sevrage représente une phase coûteuse de l'élevage

des génisses. (Palczynski et al., 2020) Ces coûts ont commencé à être ressentis au début des années 1950. Dès lors, les lactoreplaceurs, un aliment de substitution au lait maternelle, sont apparus pour fournir une alternative économique au lait entier. (Hand et al., 1985) Ces produits sont fabriqués à partir des excédents et des coproduits générés par l'industrie laitière (Gautier and Labussière, 2011). Ils présentent plusieurs avantages par rapport au lait entier. Ils sont faciles d'utilisation et de stockage. Ils offrent une homogénéité en termes de composition, contrairement au lait entier qui peut présenter une variabilité quotidienne pouvant entraîner des troubles digestifs chez les veaux dans un contexte de stress, de conditions météorologiques défavorables ou de pression infectieuse importante. De plus, certains éleveurs, bien que cela soit déconseillé, distribuent du lait invendable sans l'avoir préalablement pasteurisé, ce qui représente un risque important d'ingestion d'organismes pathogènes (Drackley, 2008).

Néanmoins, les lactoreplaceurs ne sont pas stériles, d'ailleurs une étude récente a montré que 31,3% des échantillons lactoreplaceurs provenant de fermes laitières aux États-Unis étaient contaminés par *Mycobacterium avium* ssp. *Paratuberculosis* (Grant et al., 2017).

D'autre part, certains lactoreplaceurs sont associés à de mauvaises performances en raison d'une digestibilité moindre de leurs composants et des taux faibles en énergie métabolisable. De fait, la digestibilité de l'énergie présente dans le lait de vache est d'environ 97%, tandis que celle des lactoreplaceurs varie fortement en fonction des caractéristiques de digestibilités des matières grasses, des protéines et des glucides utilisées dans la composition. Sa digestibilité peut diminuer à environ 90% (Rozemond, 1978). De plus, les lactoreplaceurs contiennent moins de matière grasse qu'un lait entier, environ 16 à 20% contre 30% (Wilms et al., 2022) pour un lait entier d'une vache Holstein, et des teneurs en lactose plus élevée 40 à 50% contre 35 % pour un lait de vache (Wilms et al., 2022). Cela impacte leur énergie métabolisable par unité de matière sèche, qui se retrouve inférieur à celle du lait, on estime qu'elle aurait une valeur inférieure à 4,6 à 4,7 kcal / g. (Drackley, 2008)

Ces différents désagréments doivent être pris en compte, pour éviter de causer des désordres digestifs et une sous-alimentation. De fait, une connaissance de la digestibilité des différents composants des lactoreplaceurs est nécessaire, afin de choisir au mieux le lactoreplaceurs tenant compte de la digestibilité limitée du jeune veau, et d'adapter

l'apport de lactoreplaceurs en fonction des besoins énergétiques nécessaire à l'entretien et la croissance du veau.

Initialement, les lactoreplaceurs étaient principalement composés de poudre de lait écrémé, qui est riche en lactose et en protéines. Cette poudre était reconnue pour son coefficient élevé d'utilisation digestive chez les veaux âgés d'une semaine, atteignant 0,87 (Trocon et Toullec, 1989), et pour sa teneur élevée en matière azotée, représentant 36% de la matière sèche. Les protéines présentes dans cette poudre de lait écrémé sont principalement des caséines, responsables de la formation du coagulum lors de la digestion naturelle du veau (Gautier and Labussière, 2011).

Jusqu'en 1988, il existait une réglementation imposant un taux minimum de 50% de lait écrémé dans les lactoreplaceurs. Cependant, cette règle a été abandonnée avec l'introduction des quotas laitiers (Toullec et al., 1990). Par conséquent, la formulation actuelle de certains lactoreplaceurs contient moins de lait écrémé (Lammers et al., 1998) et une proportion plus importante de lactosérum, qui est un sous-produit de l'industrie fromagère, dont la digestibilité est moindre.

Le lactosérum est plutôt considéré comme source d'énergie, avec une teneur en lactose comprise entre 60% et 80% et en protéines solubles entre 11% et 14%, il permet surtout l'apport de lactose (Rozemond, 1978). Sa composition varie en fonction de son origine, avec des différences entre le lactosérum acide, plus riche en minéraux et plus pauvre en protéines, et le lactosérum doux (Gautier and Labussière, 2011).

En raison de l'augmentation des prix des produits laitiers, des protéines de substitution telles que les protéines de soja, de poissons, de blé... sont utilisées dans les lactoreplaceurs. Cependant, leur digestibilité est nettement inférieure à celle des protéines d'origine laitière et réduit la digestibilité des matières grasses en raison de l'absence de coagulation dans la caillette (Trocon and Toullec, 1989). La digestibilité de ces protéines dépend de l'âge du veau, des traitements technologiques et de la source des protéines. Certaines de ces protéines de substitution contiennent des facteurs antinutritionnels et peuvent entraîner des réactions d'intolérance alimentaire.

La matière grasse étant utilisée par l'industrie laitière pour la consommation humaine, dans les lactoreplaceurs, elle est remplacée par des graisses animales comme le saindoux et

le suif, ou végétales tel que l'huile de palme, de colza, de coco ou encore de coprah. Ces différentes graisses de substitution présentent des coefficients d'utilisation digestives (C.U.D) généralement importants.

Leur digestion est influencée par la coagulation des protéines dans la caillette, la structure des acides gras et la technique d'incorporation de la matière grasse.

Le sucre principal du lait est le lactose, c'est d'ailleurs le seul sucre que le veau digère efficacement. Dans les lactoreplaceurs, il est principalement apporté par le lactosérum. Une faible teneur de sucre est remplacée par de l'amidon, ou des disaccharides dont la digestibilité désastreuse peut conduire à des diarrhées nutritionnelles, néanmoins des procédés technologiques permettent d'améliorer de façon moindre leur digestibilité.

L'objet du travail ici présent est de créer un outil pédagogique permettant d'interpréter les étiquettes de lactoreplaceurs destinées à l'alimentation des veaux laitiers en agriculture conventionnelle afin d'assurer une croissance adéquate à moindre coût. L'outil pédagogique repose sur un document Excel permettant de calculer l'énergie métabolisable apportée par un gramme de lactoreplaceur et de définir le coût d'alimentation par jour d'un veau en tenant compte des besoins du veau. Le but était également d'avoir une idée de la digestibilité des différents composants des lactoreplaceurs. Des cartes « flash » ont été créées reposant sur un questionnement des avantages et inconvénients des différents ingrédients présent sur l'étiquette.

1. Établissement et calculs des besoins physiologiques du veau en fonction de son poids et du gain quotidien souhaité

Le premier mois de vie est une période délicate pour le veau. Il doit faire face à une forte pression infectieuse, assurer une importante croissance et une maturation de ses organes. Avoir une idée des besoins nutritionnels du veau est donc important afin d'y répondre ou à l'inverse d'éviter toute perte économique suite à un apport excessif. Ces besoins varient en fonction de la race, du sexe et des conditions environnementales. (Schäff et al., 2016; Marcondes and Silva, 2021)

Nous allons détailler ici les besoins nécessaires en énergie et protéine pour l'entretien et la croissance.

1.1 Définition et calcul de l'énergie métabolisable nécessaire à l'entretien et à la croissance du veau

L'énergie métabolisable requise pour l'entretien d'un veau varie en fonction de ses besoins en homéothermie, en circulation sanguine, en respiration, en synthèse tissulaire et en activité physique. Cette énergie est obtenue en retirant l'énergie perdue dans les selles, les gaz digestifs et l'urine à l'énergie totale fournie par l'alimentation. (Marcondes et Silva, 2021).

Pour répondre à ses besoins d'entretien, un veau a besoin d'environ 48,2 kcal d'énergie métabolisable par kg de poids corporel (Bryant et al., 1967; *Ruminant Nutrition*, n.d.) Ainsi, pour un veau de 50 kg, cela représente environ 2500 kcal.

De plus, une quantité supplémentaire d'énergie est nécessaire pour soutenir la croissance du veau, qu'on estime à environ 3,7 kcal par gramme de gain corporelle (Bryant et al., 1967). Étant donné que l'on recommande une prise de poids quotidienne de 700 à 900 g pour les veaux, cela nécessite un apport supplémentaire d'environ 3000 kcal, ce qui signifie qu'un veau de 50 kg a besoin d'un total d'environ 5500 kcal par jour. Pour calculer précisément l'énergie métabolisable requise en Mégacalorie (Mcal), on peut utiliser l'équation suivante fournie par Ruminant Nutrition (s.d.), où LW et LWG représentent respectivement le poids et le poids cible du veau.

$$ME = 0.1 LW^{0.75} + 0.84 LW^{0.355} LWG^{1.2} \pm 1.03$$

En termes de litres de lait, en supposant qu'un litre de lait entier contienne environ 700 kcal, cela équivaut à une consommation quotidienne d'environ 8 litres, soit environ 16% de son poids corporel.

En outre, lorsque le veau se trouve en dehors de sa zone de thermorégulation, située entre 15 et 20 degrés, une partie de son énergie est consacrée à la thermorégulation, ce qui peut entraîner une augmentation des besoins énergétiques d'environ 1,5 fois par temps très froid (Rollin F, 2021, Cours magistral « Gestion de la santé et des productions des ruminants »).

Pour certains éleveurs, cette quantité peut paraître exagérée.

En effet, traditionnellement, il était recommandé de fournir aux veaux 10% de leur poids corporel en aliment. Cependant, cette pratique entraînait souvent une sous-alimentation, ce qui compromettrait la croissance, l'immunité et le bien-être des veaux. Par ailleurs, des études récentes confirment nos calculs puisqu'elles affirment que distribuer 20% du poids corporel en alimentation lactée favorise une meilleure croissance, une meilleure immunité et même une meilleure production en première lactation. (Rauba et al., 2019)

Contrairement à certaines idées reçues, cela n'a aucun effet sur la prise d'aliments solides post sevrage et n'altère en rien la consistance des selles (Schäff et al., 2016). En effet, pendant la phase accrue d'alimentation lactée la prise d'aliments solides est réduite mais, elle augmente au même rythme lorsque la quantité de liquide distribuée est diminuée (Drackley, 2008).

En outre, notons que le volume de la caillette représente 4 à 5% du poids du veau, autrement dit, pour un veau de 50kg, son contenu est d'environ 2,5 L. Il est donc primordial de fractionner les repas.

En ce qui concerne les aliments d'allaitements, la matière grasse étant utilisée au profit de l'alimentation humaine, ils contiennent moins de matière grasse qu'un lait entier. Cela impacte leur EM par unité de matière sèche, qui se retrouve inférieure à celle du lait, on estime qu'elle aurait une valeur inférieure à 4,6 à 4,7 kcal / g. (Drackley, 2008) L'énergie métabolisable apportée par un kg de poudre n'est pas toujours mentionnée sur les étiquettes. Dans ces cas, on peut avoir recours à l'équation suivante nous permettant de calculer l'EM exprimée en kcal/kg à partir du % de matière sèche en différents constituants.

$$\begin{aligned} \text{GE(Mcal/kg tel qu'alimenté)} = & (0,0911 \times \% \text{ de matières grasses}) + \\ & (0,0586 \\ & \times \text{protéines vraies \%}) + (0,0395 \\ & \times \text{lactose \%}) \end{aligned} \quad (\text{Eq.2})$$

Drackley, J. K. Calf Nutrition from Birth to Breeding. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **2008**,

1.2 Teneur protéique nécessaire à l'entretien et à la croissance du veau

Les protéines sont essentielles pour la croissance et pour de nombreux processus vitaux comme la production d'enzymes et d'anticorps.

Le taux protéique nécessaire pour l'entretien est plus élevé en présevrage dû à un métabolisme plus conséquent, mais reste assez faible, on l'estime à 0,5g par kg par jour. En revanche, la croissance des tissus maigre nécessite énormément de protéines, 1kg de gain corporelle demande 220g de protéines. (Rollin F, 2021, Cours magistral « Gestion de la santé et des productions des ruminants ») . Pour permettre ce dépôt, l'aliment d'allaitement doit contenir 250 à 280g de protéines brutes et minimum 4,7 kcal/g d'énergie (Drackley, 2008). Cela stipule que l'aliment d'allaitement doit comporter environ 25% de protéines (Trocon and Toullec, 1989) .

En principe, l'aliment d'allaitement contient moins de protéines que le lait entier et ces protéines sont parfois d'origine végétales donc moins bien assimilées.

Il est important de tenir compte de ces paramètres de digestibilité et du taux de croissance désiré afin d'adapter l'apport de protéines et d'énergie en conséquence.

En effet, un déficit énergétique provoquera une consommation des acides aminés pour produire l'énergie manquante pour l'entretien du veau. (Rozemond, 1978)

Le tableau ci-dessus (tableau 1) répertorie les besoins

Requirements for metabolizable energy and apparent digestible protein for a 50-kg calf at different rates of body weight gain under thermoneutral conditions

Rate of gain (kg/d)	ME (Mcal/d)	ADP (g/d)	Required DM intake ^a (kg/d)	CP required ^b (% of DM)
0	1.88	31	0.40	8.3
0.20	2.37	78	0.45	18.7
0.40	3.00	125	0.63	21.4
0.60	3.70	173	0.78	23.7
0.80	4.46	220	0.94	25.1
1.00	5.25	267	1.10	26.1

Abbreviations: ADP, apparent digestible protein; CP, crude protein; DM, dry matter; ME, metabolizable energy; NRC, National Research Council.

^a Amount of milk replacer DM containing 4.75 Mcal ME/kg DM needed to meet ME requirements.

^b Amount of CP needed in DM of milk replacer to supply the amount of ADP that matches ME provided, with NRC assumptions and equations. Assumes only milk proteins fed.

Data from National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th edition. Washington, DC: National Academy Press; 2001.

Tableau 1.

Exigences en matière d'énergie métabolisable et de protéine apparente digestible pour un veau de 50 kg à différents taux de gain de poids corporel dans des conditions thermoneutres.

Drackley, J. K. Calf Nutrition

from Birth to Breeding. *Vet.*

Clin. North Am. Food Anim.

Pract. 2008,

nécessaires en énergie et en protéine en fonction du taux de croissance attendu.

Ainsi pour un veau de 45kg, élevé dans des conditions de thermoneutralités avec un objectif de GQM de 0,80 kg/j, on doit lui apporter 4460 kcal/jour et 220g de protéines, soit 940 g d'un aliment d'allaitement contenant 25 % de matière sèche en protéine.

Si on décide d'utiliser un lactoremplacéur (LR) avec une teneur moindre en protéines, par exemple 20% de protéines, il faudrait alors 1100 g de poudre par jour, mais cela signifie qu'on apporte un surplus d'énergie. Cela reviendrait donc plus cher que d'utiliser directement un LR avec une forte teneur en protéines.

En revanche, si l'on souhaite obtenir des taux inférieurs de croissance, on peut se permettre d'utiliser un aliment d'allaitement avec un concentration moindre en protéine (Drackley, 2008).

1.2.1 Acides aminés essentiels

Essential amino acid requirements (g/d) for a 50-kg calf growing at 0.25 kg/d, and comparison with whole cows' milk

Essential amino acid (EAA)	Required (g/d)	Required (% of lysine)	Cows' milk (g/100 g EAA)	Cows' milk (% of lysine)
Methionine	2.1	26.9	4.6	31.7
Cysteine	1.6	20.5	1.4	9.6
Methionine + cysteine	3.7	47.4	6.0	41.4
Lysine	7.8	100	14.5	100
Threonine	4.9	62.8	8.2	56.6
Valine	4.8	61.5	11.7	80.7
Isoleucine	3.4	43.6	10.4	71.7
Leucine	8.4	107.7	17.3	119.3
Tyrosine	3.0	38.5	9.0	62.1
Phenylalanine	4.4	56.4	8.7	60.0
Phenylalanine + tyrosine	7.4	94.9	17.7	122.1
Histidine	3.0	38.5	4.8	33.1
Arginine	8.5	109.0	6.4	44.1
Tryptophan	1.0	12.8	2.5	17.2

Data from Williams AP. Amino acid requirements of the veal calf and beef steer. In: D'Mello JPF, editor. Amino acids in farm animal nutrition. Wallingford, Oxon (UK): CAB International, 1994. p. 329-49.

Le tableau ci-contre (tableau 2) reprend les besoins en acides aminés essentiels pour un veau de 50kg donc le GQM désiré est de 250gr par jour comparés à la teneur retrouvée dans le lait de vache. L'arginine semble manquer dans le lait de vache, mais on suppose que ce manque est comblé par une synthèse du veau (Drackley, 2008).

Tableau 2.

Exigences en acides aminés essentiels en gr/jour pour un veau de 50kg dont la croissance souhaitée est de 250 gr/jour en comparaison avec la teneur retrouvée dans le lait de vache

Drackley, J. K. Calf Nutrition from Birth to Breeding.

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. **2008**,

1.3 Besoins en minéraux essentiels et vitamines

Le veau naît anémique, une supplémentation en fer est nécessaire, le NRC recommande un besoin de 45,4mg par jour. (Hand et al., 1985), c'est un élément important pour la croissance et l'immunité.

Une supplémentation en cuivre est également utile, mais attention de ne pas dépasser la dose de 4,53 mg par jour, en effet une supplémentation excessive peut s'avérer toxique.

Le zinc est aussi important pour l'immunité, on estime son besoin à 18,1 mg par jour (Hand et al., 1985).

Le manganèse est important pour l'absorption de la matière grasse et des protéines, on prévoit un taux de 18,1 mg par jour (Hand et al., 1985).

On supplémente aussi en sélénium à hauteur de 0,13mg/jour (Hand et al., 1985).

Les aliments d'allaitement sont supplémentés également vitamines A, C, D et E. Ces vitamines améliorent également la santé et la croissance. Attention, la vitamine A peut être préjudiciable en cas de diarrhée (Kertz et al., 2017).

La supplémentation en vitamine E est importante lorsqu'une part importante d'acides gras insaturés rentre dans la composition du lactoremplacéur. Un rapport trop faible entre vitamine E et acide gras insaturés peut engendrer un excès d'utilisation de la vitamine E pour protéger les acides gras insaturés contre l'oxydation dans les membranes cellulaires. La conséquence est un manque de disponibilité de la vitamine E au niveau des muscles ce qui peut contribuer à l'apparition de myopathies. On recommande ainsi une dose allant de 15 à 35 mg/kg de matière sèche de vitamine E (Hand et al., 1985).

2. Étude de la capacité physiologique de digestion du veau des protéines, matières grasses et glucides

Le bagage enzymatique du veau est assez limité à la naissance, il est essentiellement développé de façon à digérer efficacement les protéines du lait, le lactose et les triacylglycérols alimentaires. Ainsi, ces enzymes ne permettent pas une dégradation et donc une assimilation correcte des protéines non laitière et des polysaccharides tels que l'amidon (Drackley, 2008). Cette caractéristique va avoir un impact important sur la digestibilité des lactoremplacéurs et donc sur leur composition.

Pendant la phase préruminant, le veau se nourrit presque exclusivement d'une alimentation lactée. La digestion est alors assurée par l'abomasum occupant à ce stade 60 % du système digestif. Nous allons voir dans les paragraphes qui suivent comment se produit la dégradation d'un lait entier de vache, et en quoi le choix des protéines dans un lactoremplacéur peut influencer la digestion (Drackley, 2008).

2.1 Digestions des protéines :

Les protéines du lait sont divisées en deux catégories.

D'une part les protéines coagulantes, appelées caséines, qui représentent 78% des protéines totales du lait. Les caséines alpha 1, alpha 2 et beta sont hydrophobes, tandis que la caséine K est amphotère. Lorsqu'elles sont sécrétées, elles s'associent sous forme de micelles, au sein desquels la caséine K empêche les caséines alpha et beta de précipiter. Cette dernière permet ainsi d'entraver la coagulation et de garder la majorité des protéines du lait sous forme soluble en évitant une coagulation spontanée.

D'autre part, les protéines dites sériques ou solubles, qu'on retrouve dans le lactosérum après la phase de coagulation du lait. Il s'agit de la β -lactoglobuline, α -lactalbumine,

d'immunoglobulines, d'albumine sérique et, dans une plus faible proportion, on trouve la lactoferrine, les protéoses-peptones et la lactoperoxydase (Léonil, 2014).

Lors du repas, la dégradation des protéines commencent au sein de la caillette puisque la glande salivaire du jeune veau est dépourvue d'enzymes protéolytique (f.gautier, E. Labussière). L'ingestion provoque une sécrétion d'acide chlorhydrique (HCl) par les cellules pariétales de la muqueuse glandulaire de la caillette, aboutissant à une baisse du pH gastrique partant de 5,5-4,5 pour arriver à un pH de 2 environ 6h plus tard. (Trocon and Toullec, 1989) Cette acidification contribue, d'une part, à la dénaturation partielle des protéines du lait, et d'autre part, à l'activation des endopeptidases gastriques. Notons que les traitements thermiques du lait écrémé peuvent réduire la sécrétion de HCl, de protéases gastriques et pancréatiques (Trocon and Toullec, 1989).

2.1.1 Digestion des protéines coagulantes au sein de l'abomasum

La digestion du lait commence par une phase de coagulation qui nécessite l'action de la chymosine . Elle permet d'hydrolyser la liaison phénylalanine 105-Méthionine 106 de la caséine Kappa pour la scinder et, ainsi, déstructurer les micelles de caséine. (F gautier, F labussière)

Cela provoque l'aggrégation des caséines alpha et beta aboutissant à la formation d'un coagulum piégeant en son sein la graisse (Drackley, 2008 ; F gautier, F labussière). Le coagulum permet de réduire la vitesse de vidange de la caillette puisqu'il retient les caséines et la graisse dans la caillette. Ce ralentissement permet d'éviter une surcharge de l'intestin grêle et donc d'améliorer la digestion en son sein.

Pendant leur rétention, les caséines vont subir une digestion progressive par la chymosine, la pepsine A et la pepsine B également sécrétées par la muqueuse glandulaire, puis elles rejoindront l'intestin grêle sous forme de fragments. Seule une petite fraction de caséines alpha fortement hydrophiles rejoindra le duodénum sous forme non ou peu protéolysées.

2.1.2 Digestion des protéines solubles

Les substances hydrosolubles c'est à dire le lactose, les protéines solubles, les minéraux et vitamines du lait se retrouvent dans le lactosérum qui est produit par la contraction progressive du coagulum. Ce dernier transit vers l'intestin grêle assez rapidement, dans les 2 à 3h suivant le repas.

Les protéines solubles et les protéines végétales retrouvées dans certains aliments d'allaitement ne participent pas à ce phénomène de coagulation. Ainsi, si elles sont majoritaires dans le lactoreemplaceur, les lipides et protéines quittent alors la caillette beaucoup plus rapidement. La rapidité de ce phénomène dépend donc de l'origine des protéines mais également de ses traitements technologiques (A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves. Animal Feed Science and Technology.).

En guise d'exemple, on peut citer les protéines de soja qui quittent la caillette 3h après l'ingestion tandis que celles du lactosérum sont retenues jusqu'à 6h.

Une fois dans l'intestin grêle le transit se fait en 2,5 h pour rejoindre le gros intestin où ces protéines resteront 12 à 18H.

Heinrich et ses collaborateurs se sont interrogés sur les effets de la vidange stomacale rapide vers le duodénum causé par l'absence de coagulation. En effet, en engendrant un contact plus bref des lipides et protéines avec les enzymes abomasales, elle pourrait influencer négativement la digestion et l'assimilation de ces nutriments. Pour tester cette hypothèse, ils ont soumis un lot de 7 veaux à un régime témoin à base de lait écrémé, et un régime à base de protéines de poisson blanc partiellement hydrolysées. L'aliment était soit ingéré, soit infusé lentement et rapidement dans le duodénum.

Cette expérience a montré que le contournement de la bouche et de la caillette, mimant une vidange stomacale rapide n'aurait pas d'effet sur la fréquence de diarrhée. La digestibilité des protéines était très faiblement altérée. Néanmoins, l'absence de coagulation a diminué la digestibilité des lipides. Cet effet peut être expliqué par l'absence d'hydrolyse des triglycérides au sein de la caillette. (J. Longenbach et A.Heinrich, 1998).

La vidange gastrique pour les protéines solubles dépend du taux de substitution des caséines, de la source de protéine et de leur traitement technologique. Un temps très court dans la caillette diminue le degré d'hydrolyse des protéines, bien que l'acidité stomacale contribue tout de

même à leur dégradation. Cependant, La majorité de leur digestion s'effectuera alors dans le duodénum proximal (F gautier, F labussière) par l'elastase II pancréatique formant des petits peptides et des acides gras libres. Cette enzyme devient importante chez les animaux nourris aux protéines végétales. ("Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations - PubMed," n.d.). La fin de la digestion se fait au niveau de la bordure en brosse de 'l'intestin grêle par les carboxypeptidases et la trypsine (F gautier, F labussière).

2.1.3 Influence de l'origine des protéines et des traitements technologiques sur la digestibilité des différentes protéines

TABLEAU 3

Utilisation digestive des matières azotées chez le veau préruminant (68)

Produit étudié	Matières azotées apportées par le produit (a)	C.U.D. apparent (p. 100) des matières azotées du produit étudié
<i>Lait écrémé séché par le procédé SPRAY</i>		
— coagulant normalment	100	96,1
— additionné de citrate de sodium (b)	100	95,4
— additionné d'acide chlorhydrique (b)	100	95,0
<i>Lactosérum</i>		
— sérac	100	93,2
— lactoprotéines	100	90,7
— ultrafiltration	100	94,3
<i>Poisson</i>		
— gras délipidé à l'hexane	81	83,5
— blanc partiellement hydrolysé	93	90,5
<i>Soja</i>		
— cuit	75	74,2
— fermenté (par <i>Geotrichum candidum</i>)	77	75,9
— concentré (par extraction à l'alcool d'une partie des glucides)	78	79,2
<i>Levures d'alcanes</i>	71	84,4
<i>Bactéries cultivées sur méthanol</i>	78	81,7
<i>Pomme de terre</i>	74	82,2
<i>Fèverole (concentrée par extraction alcaline)</i>	73	67,7

La digestion des protéines dépend de leurs origines, de la technologie de préparation et la nature de la fraction glucidique de l'aliment.

Comme on peut le remarquer dans le tableau ci-contre, la digestibilité des protéines du lait écrémé avoisines les 95% même en absence de coagulation (testée par ajout d'acide chlorhydrique ou de citrate de sodium).

En ce qui concerne les protéines du lactosérum, bien que leur digestibilité, déjà satisfaisante, s'accroisse lors du premier mois de vie, reste inférieure aux protéines du lait écrémé. Les protéines de poissons blancs partiellement hydrolysées affichent également un C.U.D élevé. Quant aux protéines végétales, leur C.U.D est inférieur de plus de 15% à celui des protéines de lait écrémé. Cette digestibilité peut être améliorée par chauffage et extraction des glucides complexes responsables de fermentations bactériennes (Rozemond, 1978) .

Tableau 3 : Utilisation digestive des matières azotées chez le veau (Rozemond, 1978)

2.2 Digestion et absorption des graisses :

La matière grasse contribue à fournir l'énergie et l'apport en acide gras essentiels aux veaux . Elle va également influencer la composition en graisse corporelle du veau (livre) Dans un lait entier, elle représente 30% de la matière sèche, elle est essentiellement constituée d'acide gras à chaînes courtes, moyenne et polyinsaturés (Hill et al., 2007) on retrouve 98% de la MG sous forme de triglycérides dont 65% sont saturés.

Cependant, cette dernière étant hautement utilisée par l'industrie laitière pour la consommation humaine, la matière grasse retrouvée dans les lactoreplaceurs est différente de celle qu'on trouve originellement dans le lait de vache. Elle est souvent substituée par des graisses animales comme le saindoux et le suif, ou végétales tel que l'huile de palme, de colza, de coco ou encore de coprah. De plus, elle ne représente plus qu'environ 18 à 22% de la matière sèche d'un lactoreplaceur (F gautier, Labussières) .

En ce qui concerne sa digestion, elle débute dans la cavité buccale grâce à l'estérase pré-gastrique salivaire. Elle se poursuit de façon moindre dans la caillette par l'hydrolyse des triglycérides sous l'effet d'une lipase, puis la majeure partie de sa digestion se fait au sein de l'intestin grêle par une lipase pancréatique qui hydrolyse les triglycérides en acides gras libres, monoglycérides et diglycérides.

Avant le premier mois de vie, les enzymes pancréatiques ne présentent pas un fonctionnement optimal, il est donc important de mieux comprendre ce qui peut influencer la digestion des matières grasses par le veau à ce stade. Cette digestion est influencée notamment par la coagulation dans la caillette, la structure des acides gras et la technique d'incorporation de la matière grasse.

2.2.1 Influence de la formation de coagulum au sein de la caillette et l'âge du veau sur la digestibilité de la matière grasse

La formation du coagulum piégeant en son sein la graisse va influencer sa digestibilité en augmentant son temps de contact avec la lipase salivaire qui se trouve à un pH optimal au sein de l'abomasum.

Tel qu'énoncé précédemment, des études ont montré que l'absence de passage du lait au sein de l'abomasum diminue la digestibilité fécale des graisses de 11 à 13%. ("Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations - PubMed," n.d.)

Des expériences ont été réalisées pour tester l'effets de l'absence ou présence de coagulation sur la digestibilité de la matière grasse par ajout d'acide chlorhydrique ou de citrate de sodium. L'absence de coagulation en présence de MG du lait diminuent leur digestibilité d'environ 20%, tandis qu'avec le saindoux, il n'y a aucun effet sur la digestibilité (labussière et gautier), ainsi il semblerait que la digestibilité de la matière grasse en l'absence de coagulum, dépend de l'origine de la matière grasse. De plus, si on considère des veaux âgés de 9 à 56 jours, l'utilisation de protéines végétales réduit la digestibilité de 7% (labussière et gautier).

Cependant, la majeure partie de la digestion de la graisse semble avoir lieu au sein de l'intestin grêle par les enzymes constituant le suc pancréatique puisque le détournement de ce dernier provoque une diminution de la digestibilité d'environ 30%. En outre, pendant le début de vie du veau, la lipase pancréatique n'a pas une activité optimale. ("Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations - PubMed," n.d.). On peut donc imaginer, que la non formation du coagulum entraînant une arrivée plus rapide de la matière grasse dans le duodénum et va saturer rapidement le peu d'enzymes présentent. En revanche, à des âges plus avancés, le veau disposant d'avantage d'enzymes pancréatiques, il supportera mieux cette arrivée massive permettant une meilleure digestion.

2.2.2 Influence de la structure des acides gras sur la digestibilité

TABEAU 2

Composition en acide gras (A) et coefficient d'utilisation digestive apparent (B) de différentes matières grasses (65)

	Matières grasses du lait		Suif		Huile d'arachide		Huile de coprah		Huile de palme		Saindoux		Huile de hareng hydrogénée	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
C ₂	5,4	100,0					7,8	100,0						
C ₄	1,4	100,0					5,9	99,1						
C ₆	3,3	100,0					44,9	97,1						
C ₈	3,9	98,9					16,6	93,8	1,3	93,2	1,5	97,6	8,1	96,9
C ₁₀	11,5	97,7	3,4	94,0			11,5	90,0	42,0	91,8	28,3	94,7	16,0	93,2
C ₁₂	29,1	96,0	26,0	85,9	10,0	89,7	2,9	85,3	5,6	89,4	17,2	90,6	7,5	89,0
C ₁₄	9,4	95,6	27,4	81,4	3,8	81,3	8,6	96,0	41,1	98,6	44,3	98,2	16,0	95,4
C ₁₆	22,3	98,8	32,2	97,0	61,1	95,7	1,6	98,5	9,1	99,6	6,0	99,4	3,2	99,5
C ₁₈	2,0	100,0	2,0	100,0	17,7	97,9							4,1	89,9
C ₂₀													12,5	94,7
C ₂₂													4,1	87,9
C ₂₄													14,3	92,9
Acides gras totaux		97,5		90,3		93,4		95,5		95,1				93,9

Tableau 4 : Composition en acide gras (A) et coefficient d'utilisation digestive apparent (B) de différentes matières grasses (65). (Rozemond, 1978)

Dans le tableau 4 ci-dessus, on observe que la digestibilité est de 100% pour les chaînes d'acides gras saturés d'une longueur inférieure à 12 carbones. En effet, la lipase pancréatique agit plus facilement sur les AG saturés à chaînes courtes et moyennes. Pour les AG à chaînes longues on observe un décroissement de la digestibilité proportionnel à l'accroissement de la chaîne.

En revanche, pour les acides gras insaturés à longues chaînes, on remarque que la digestibilité augmente avec le degré d'insaturation. Cependant, les huiles avec une trop forte teneur en acide gras insaturés, comme l'huile d'arachide qui en contient près de 80%, présentent une mauvaise utilisation métabolique, (Rozemond, 1978) et semblent d'ailleurs augmenter l'incidence de diarrhée et diminuer la croissance (Toullec et al., 1969).

D'autre part, pour les acides gras de grande taille, on observe qu'un même acide gras est associé à des C.U.D différents d'une matière grasse à l'autre. Par exemple l'acide stéarique a un C.U.D de 95,6 dans la matière grasse du lait tandis que son C.U.D dans le suif est de 81,4. L'explication de Gautier et collaborateurs (Gautier and Labussière, 2011) serait que la digestibilité des acides gras à longue chaîne dépend de la proportion d'AG courts ou insaturés qui les accompagne. En effet, les acides gras saturés sont associés à une meilleure solubilité micellaire. Cela semble justifié, de fait, le suif ne contient que 3,4 % d'AG inférieurs à C14 et 34% d'AG insaturés tandis que la matière grasse du lait contient 25,5% d'AG inférieurs à C14 et 24% d'AG insaturés.

(Toullec et al., 1969; Rozemond, 1978; "Origines alimentaires et digestion des nutriments chez le veau préruminant," n.d.) Comme Toullec et collaborateurs l'ont rapporté, la digestibilité des matières grasses est associée à leur structure et composition en acides gras.

De plus, la position d'estérification de l'acide gras dans les molécules de triglycérides semble expliquer la différence de C.U.D entre les acides gras insaturés. En effet, on observe que l'acide palmitique C16 a une digestibilité 3% plus élevée dans le saindoux que dans l'huile de palme. Cela serait dû au fait qu'il est situé en position interne dans le saindoux et en position externe dans l'huile de palme. La position interne au sein du triglycéride est donc associée à une meilleure digestibilité (Gautier and Labussière, 2011).

Enfin, pendant le premier mois de vie le veau métabolise plus facilement les acides gras courts et moyens, mais il transforme mal les acides gras insaturés. En d'autres termes, le jeune veau utilise facilement les acides gras courts à des fins énergétiques ce qui favorise donc sa croissance (Rozemond, 1978).

2.2.3 Influence de la technologie d'incorporation de la matière grasse dans l'aliment

La méthode d'incorporation de la matière grasse dans le lactoreemplaceur a un impact sur sa digestibilité. L'incorporation peut se faire par voie humide ou par voie sèche. Les études ont montré que la voie humide, où la matière grasse est incorporée sous forme de fines particules de 2 à 4 μm avec des liaisons lipoprotéiques bien développées, est associée à une meilleure digestibilité. Par exemple, la digestibilité du suif est de 90% par voie humide, tandis qu'elle n'est que de 87% par voie sèche, où les particules obtenues sont plus grandes (8 à 12 μm) et les liaisons lipoprotéiques moins développées. En effet, des particules plus grandes sont associées à un risque d'agglomération pouvant conduire à des diarrhées.

Pour améliorer la digestibilité dans ces situations, des émulsifiants tels que la lécithine de soja, les monoglycérides et les saccharoglycérides sont utilisés, permettant ainsi de diminuer les accidents entériques.

En outre, l'utilisation d'une homogénéisation à basse pression par rapport à une simple homogénéisation peut augmenter la digestibilité de manière significative, jusqu'à 11%.

Ces résultats soulignent l'importance des méthodes d'incorporation de la matière grasse dans les lactoreplaceurs et des techniques d'émulsification pour optimiser sa digestibilité et garantir une meilleure utilisation de la matières grasse par les veaux (Rozemond, 1978).

2.3 Digestion des glucides

Pendant les premiers mois de vie, le veau est considéré comme un monogastrique. Cependant, il présente des différences importantes en ce qui concerne sa digestion des glucides par rapport aux monogastriques vrais (Thivend, 1979). En effet, à la naissance, en dehors de la lactase intestinale peu d'enzymes glycolytiques sont réellement fonctionnelles. La flore du gros intestin contribue également à la digestion des glucides, cependant les produits de cette dernière peuvent conduire à des maladies d'origine nutritionnelle.

2.3.1 Digestion du lactose :

Le lactose est un glucide simple formé d'un glucose et d'un galactose qui sont reliés par des liaison alpha (1-4). Il représente 34% de la matière sèche du lait entier. Il s'agit donc de la principale source glucidique du veau. En tant que composant principal du lactosérum, il quitte rapidement la caillotte et rejoint l'intestin grêle où il est hydrolysé. Son coefficient de digestibilité est d'environ 99% grâce à l'activité enzymatique de la lactase qui est exceptionnellement élevée dès la naissance. Elle garde une activité accrue jusqu'à 8 semaines malgré une légère diminution d'activité au cours de la première semaine. (Thivend, 1979). L'hydrolyse du lactose libère des sucres simples facilement absorbables comme le glucose et galactose (Gautier and Labussière, 2011).

Les glucides contribuent à l'apport énergétique avec la matière grasse. Or, cette dernière étant réduite dans les lactoreplaceurs, cette diminution est compensée par un apport en sucres supplémentaires pour atteindre une densité énergétique suffisante. Ainsi on retrouve parfois jusqu'à 50% de la MS occupée par du lactose dans les lactoreplaceurs. Selon P.Thivend (Thivend, 1979) ce qui est proche de la concentration maximum en lactose de 55% de la matière sèche de l'aliment à partir de laquelle on observe des désordres digestifs. Cependant, comme énoncé plus haut, pour qu'un veau de 50 kg effectue une croissance de 750 g/ jour, il doit recevoir environ 940 g de poudre ce qui représente plus de 10 g de glucose par kg de poids vif (PV). Or, il a été montré qu'au-delà d'un apport de 6g de lactose par kg de PV en un seul repas associé à un régime pauvre en protéines, des diarrhées et une diminution de la digestibilité sont observées. Il semblerait que ce soit la conséquence d'une saturation du transport du glucose dans l'intestin grêle. Cependant, si l'alimentation est divisée en plusieurs repas sur la journée, une telle teneur en lactose ne devrait pas poser de problèmes. Cependant, en cas de nutrition à

volonté, Berends et ses collaborateurs ont observé une augmentation significative des maladies respiratoires chez des veaux nourris avec un lactoremplacateur de la teneur en lactose atteignait 47% en compensation d'une diminution de la matière grasse de 31% à 20% (Berends et al., 2020).

2.3.2 Digestion de l'amidon et des disaccharides

La digestion de l'amidon est difficile pour un jeune veau. En effet, il naît dépourvu d'amylase salivaire et l'activité de l'amylase pancréatique est, quant à elle, très faible. L'augmentation d'activité se fait progressivement jusqu'à l'âge de deux mois et s'accroît sous influence d'une alimentation contenant de l'amidon. Cependant, il existe des différences de digestibilités au sein de cette catégorie en fonction de l'origine botanique de l'amidon. De fait, les amidons de type A, présents dans les céréales telles que le blé, le riz et le maïs, ont une digestibilité apparente plus élevée (blé : 96%, riz : 93% et maïs : 92%) que les amidons de type B, présents dans des tubercules tels que le manioc et la pomme de terre (manioc : 78% et pomme de terre : 59%) (tableau 4). Cette différence de digestibilité est due à une plus grande proportion d'amylopectine, qui est plus facilement hydrolysée, dans les amidons des céréales par rapport à ceux des tubercules (Gautier and Labussière, 2011).

La dégradation de l'amidon aboutit à la formation de maltose, isomaltose et oligosides, dégradés respectivement par la suite par une maltase pancréatique et une isomaltase dont les activités sont très faibles. L'amidon est également hydrolysé en oligoside, mais le veau est déficient en oligoglucosidase. Une partie de l'amidon sera ainsi non digérée dans l'intestin grêle. Ces produits vont progresser vers le gros intestin où ils seront dégradés par les lactobacilles et streptocoques de la microflore. Cette fermentation aboutit à la formation d'acide gras volatils, d'acide lactique et de gaz dont les conséquences pour le veau sont décrites ci-dessous ("Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations - PubMed," n.d.) Thivend, 1979) .

Des procédés technologiques tels que la dextrinisation, la gélatinisation ou micronisation permettent d'améliorer la digestibilité et solubilité des amidons difficilement hydrolysables à l'état cru comme l'amidon provenant de la pommes de terre (Rozemond, 1978).

Une fois traité, l'amidon est fortement dégradé contenant beaucoup de dextrines solubles dans l'eau. Cependant la formation de glucides à chaînes courtes doit être évitée : en proportion importante ils fermentent dans le gros intestin provoquant des diarrhées.

En termes d'amélioration de la digestibilité, l'objectif est d'obtenir un produit dont la vitesse d'hydrolyse par les enzymes du tube digestif est régulière permettant que les produits terminaux soient absorbés au fur et à mesure de leur libération. Un mélange d'amidon cru, traité et de glucides simples permet un tel résultat.

Les jeunes veaux ne disposent également pas de sucrase, ils sont par conséquent incapable de digérer le saccharose, son administration conduit à de graves diarrhées osmotiques. Néanmoins, ils sont capables de tolérer de petites quantités de fructose et de sorbitol (Drackley, 2008).

2.3.3 Diarrhées nutritionnelles provoquées par l'apport de sucres de substitution

Les glucides non digérés au sein de l'intestin grêle servent de substrat à la microflore du gros intestin aboutissant à la libération d'acides gras volatils, d'acide lactique et des gaz. Ces acides gras en quantités importantes sont irritants pour la muqueuse intestinale pouvant entraîner un hyperpéristaltisme, et les glucides non dégradés vont avoir un effet hypertonique provoquant un appel d'eau. Tout cela conduit à une diminution de la consistance des selles voire une diarrhée, bien qu'elle n'affecte que peu le bilan d'hydratation qui est régulé via une diminution de la production d'urine, elle prédispose le jeune veau, déjà grandement sensible, à des dysbactérioses intestinales (Rozemond, 1978).

3 Composition des lactoreplaceurs en nutriments :

3.1 Composition en produits laitiers :

A l'origine, les lactoreplaceurs ont été conçus pour valoriser les excédents laitiers et les coproduits de la fromagerie et la beurrerie. Les produits ainsi obtenus sont le lait écrémé, les lactosérums et les babeurres.

3.1.1 Poudre de lait écrémé :

Il s'agit à l'origine de la principale source de protéines lactières utilisée. (Drackley, 2008)

La poudre de lait écrémé constitue une importante source de protéines puisqu'elle contient 36% de la matière sèche sous forme de matière azotées totales, qui sont essentiellement des caséines. Elle se caractérise également par une importante digestibilité de 0,87 pour un veau âgé d'une semaine à 0,97 pour un veau de 4 semaines. (Trocon and Toullec, 1989)

Par le passé, un taux minimum de lait écrémé était mis en rigueur. Depuis 1988, cette règle a été abolie suite à la mise en place des quotas laitiers (Toullec et al., 1990), ainsi, la formulation actuelle de certains lactoreplaceurs contient peu de lait écrémé. (Lammers et al., 1998) . Pour rappel, seule le lait écrémé contient des caséines responsable de la formation du coagulum améliorant la digestion du veau. Néanmoins, Lammers et ses collaborateurs ont montré que les veaux nourris avec le substitut de lait contenant 100% de lait écrémé avaient de moins bonnes performances que les veaux nourris avec des substituts de lait contenant une proportion plus élevée de lactosérum, et que l'effet de coagulation de la caséine n'était pas nécessaire pour des performances optimales (Lammers et al., 1998).

3.1.2 Lactosérum :

Le lactosérum est une source de protéines solubles et de lactose. Il existe deux types de lactosérums : le lactosérum doux, qui provient de la fabrication de fromages nécessitant un traitement à la pression, autrement dit les fromages à pâte pressée cuite et non cuite ainsi qu'à pâte molle, et le lactosérum acide, qui est un sous-produit de la fabrication de fromages à pâtes fraîches et de caséinates. Leur composition varie en fonction de leur origine. Le lactosérum

acide a une teneur en minéraux supérieure de 3% par rapport au lactosérum doux, mais une teneur en matières azotées totales (MAT) inférieure de 3%.

Il existe également des concentrés de protéines sériques, qui sont en réalité du lactosérum dont on a extrait l'eau, les minéraux et le lactose.

Le lactosérum est utilisé dans les substituts de lait sous différentes formes. On peut trouver le lactosérum tel quel, sous forme déminéralisée, délactosée c'est à dire riche en protéines et en minéraux, mais pauvre en lactose, ou sous forme ultrafiltrée, également riche en protéines, mais à l'inverse pauvre en minéraux (Gautier and Labussière, 2011).

3.1.3 La poudre de babeurre :

Le babeurre est le liquide qui se forme lorsqu'on baratte le beurre. Après avoir été séché, la poudre de babeurre se compose principalement de lactose (43%), de protéines laitières (33%) et de minéraux (10%).

En général, ces produits de l'industrie laitière ont des profils en acides aminés équilibrés par rapport aux recommandations nutritionnelles. Cependant, les protéines présentes dans la poudre de babeurre, la poudre de lactosérum et ont des profils en acides aminés différents de la poudre de lait écrémé en raison de la ségrégation des caséines.

3.2 Composition en matières grasses

Etant donné que la digestion des graisses dépend de la structure de ses acides gras, il faut en tenir compte pour le choix de la matière grasse incorporée dans les lactoreplaceurs. Ainsi, on recommande une teneur en acides gras longs et saturés, c'est à dire supérieur ou égal à 18 carbones, qui ne dépasse pas 18% de la matière grasse totale. La teneur en acides gras polyinsaturés doit être inférieur à 5% et celle en acide gras courts et moyens doit se situer entre 15 et 30%.

Afin d'y parvenir, on trouve dans les lactoreplaceurs un mélange d'huiles complémentaires.

3.3 Glucides entrant dans la composition des lactoremplaceurs

Étant donné l'importante digestibilité du lactose, il s'agit de la principale source de glucide retrouvée dans les lactoremplaceurs. Ce dernier est généralement apporté par le biais du lactosérum et de la poudre de lait écrémé, contenant respectivement 72 à 75 % et 50 à 55% de la matière sèche en lactose (Rozemond, 1978) . Il peut également être apportés par la poudre de babeurre, du concentré protéique de lactosérum, de l'ultrafiltrat de lait ou de lactosérum, mais c'est plus rare de trouver ce genre de produit (Rozemond, 1978).

Cependant, l'augmentation du prix du lactosérum et du lactose au cours des dernières années poussent les firmes productrices de lactoremplaceurs à se tourner vers d'autres sources d'hydrates de carbones bon marché (Drackley, 2008). Cependant, les capacités de l'amylase et la maltase pancréatique étant limitées, pour un veau de moins de 3 semaines, seul des petites quantités d'amidon pré-gélatinisé ou hydrolysé et de maltose peuvent être tolérées. Le glucose, ou autrement dit le dextrose, et le galactose sont quant à eux bien utilisés par le veau. On autorise que le lactose soit remplacé par du glucose, du maltose et de l'amidon transformé à hauteur de maximum 8 à 10% de la matière sèche pour les veaux de moins de 8 semaines (Drackley, 2008).

Étant donné la digestibilité médiocre du saccharose et les risques de diarrhée qui y sont associés, il est seulement autorisé à des taux inférieurs à 2 ou 3% de la matière sèche de l'aliment (Rozemond, 1978).

En ce qui concerne les produits amylasés, ils peuvent être utilisés à des taux inférieurs à 4% de la matière sèche de l'aliment. Comme énoncé précédemment, la digestibilité des amidons de type A, c'est-à-dire provenant des céréales étant supérieure aux autres amidons, il est préférable de privilégier l'utilisation d'amidon de blé et de maïs .

Matériels et méthodes :

Nous avons rassemblé des étiquettes de lactoreplaceurs provenant de différentes sources, notamment de l'entreprise française Lactoproduction, spécialisée dans la production de lactoreplaceurs pour les jeunes animaux. Par ailleurs, nous avons également recensé d'autres étiquettes au sein des fermes rencontrées lors de nos stages à la Clinique du Château de Gembloux en Belgique, ainsi qu'au cabinet Vétérinaire Stenay Mouzon situé en France. Ces étiquettes ont été collectées dans le but de créer deux outils pédagogiques.

Le premier consiste en un document Excel, permettant une application rapide des formules mentionnées dans la partie 1, « établissement et calculs des besoins physiologiques du veau en fonction de son poids et du gain quotidien souhaité. » Il permet ainsi de calculer les besoins du veau à partir de son poids et du GQM souhaité, qui suffit d'entrer dans le document. Également, à partir de l'encodage des pourcentages de matières grasses, lactoses et protéines contenus dans le lactoreplaceur un calcul de l'énergie métabolisable contenue dans un gr de lactoreplaceur est réalisé. L'outil permet également de déterminer le cout quotidien d'alimentation du veau, et de le comparer à une alimentation à base de lait entier.

Le second outil est basé sur la réalisation de cartes « flash » à parti du logiciel Anki. L'exercice consiste à évaluer la digestibilité des différents composants, à partir d'une face A visible comportant l'étiquette de lactoreplaceur, et une face B, contenant l'analyse des composants et donc la réponse à l'exercice.

Résultats :

Exemple avec l'étiquette n°1 : Regalac Extra,

Face A Que pensez-vous des composants ?

Face B Critique des composants :

<u>Constituants analytiques:</u>			
Protéine brute	22.5 %	Cendres brutes	7.5 %
Matières grasses brutes	22.0 %	Calcium	0.9 %
Glucose brute	0.30 %	Phosphore	0.7 %
Humidité	4.0 %	Sodium	0.5 %
<u>Additifs au kg:</u>			
<u>Vitamines</u>			
Vitamine A (3a672a)		25000 UI	
Vitamine D3 (3a6711)		10000 UI	
Vitamine E (3a6712)		120 mg	
Vitamine B1 (3a6713)		3.0 mg	
Vitamine B2 (3a6714)		150 mg	
Vitamine B6 (3a6715)		200 mg	
Chlorure de choline(3a890)			
<u>Oligo-Éléments</u>			
Fer (chélate de glycine) 3b108		60 mg	
Cuivre (sulfate pentahydraté) 3b405		10.0 mg	
Sélénium (Levure sélénée <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CNCM I-3080, inactivée) 3b810		0.20 mg	
Zinc (sulfate monohydraté) 3b605		50 mg	
Zinc (chélate de glycine, hydrate) 3b607		30 mg	
Manganèse (sulfate monohydraté) 3b603		93 mg	
Iode (iodure de potassium) 3b201		2.0 mg	
<u>Antioxygène</u>			
BHT(E 320)		44.8 mg	
<u>Composition:</u>			
Lait écrémé en poudre, Lactosérum, Huile de palme, Gluten de blé, Huile de coprah, Farine de blé, Extrait de levure de bière inactive (MOS), Sorbitol.			
<u>Informations complémentaires:</u>			

Points positifs	Points négatifs
L'ingrédient principal est de la poudre de lait écrémé, le deuxième ingrédient principal est du <u>lactosérum</u> : Grande part de produits d'origine laitière présentant une bonne digestibilité	Une partie des protéines est apportée par du gluten et de la farine de blé : mauvaise digestibilité et associé à des troubles digestifs chez les jeunes veaux.
Huile de coprah et huile de palme : ces deux huiles présentent des digestibilités importantes et se complètent bien en ce qui concerne leurs structures en acide gras.	Sorbitol : absence de sucrase chez le veau, digestion difficile des -oses, bien que de petites quantités sorbitol soit tolérées par le veau

Application de l'utilisation du document excel :

On considère ici l'alimentation d'un veau femelle d'une semaine dont la croissance souhaitée est 750gr/ jour, avec Regalac Extra vendu au prix de 71€ hors TVA le sac de 25 kg. Le plan d'alimentation pour un veau âgé de 6 à 10J est de 210gr de lactoreplaceurs pour 1,5L d'eau donc 1,710L, deux fois par jour.

Données à remplir	
Poids vif du veau (en Kg)	50
GQM (en g)	750
% matières grasses	22
% protéines	22,5
% lactose	41,6
Prix du lait par litre (en euros)	0,4
Prix de la poudre de lait par Kg (en euro)	2

Résultats		
Besoin en EM par jour	5185	kcal
EM lactoreplaceurs	4,9659	kcal/g
Besoin en protéines par jour	212,5	g
Nourriture:	au lait de vache	à la poudre de lait
Quantité nécessaire	7,407	L
Prix	2,963	€
		1044,121 g
		2,088 €

Discussion

Lors de la récolte des étiquettes, nous avons été très perplexes de se rendre compte que l'énergie métabolisable apportée par les lactoreplaceurs n'est jamais mentionnée. Des programmes d'alimentation sont tout de même proposés. Cependant, nous nous sommes rendus compte à partir du calcul de l'énergie métabolisable présente dans un gramme de lactoreplaceurs et du calculs des besoins en énergie métabolisable pour la croissance et l'entretien du veau, que la quantité qu'il est conseillée d'administrer est nettement inférieure aux besoins réels.

De fait, si on considère le lactoreplaceurs *Regalac extra* contenant 22,5% de protéines, 22% de matières grasses et 41,6% de lactose, il apporte environ 5kcal / gr de poudre. Pour un veau âgé de 6 à 10jours, l'étiquette recommande un apport journalier de 420 gr de poudre. Etant donné que les besoins d'un veau de 50kg voulant soutenir une croissance de 750 gr par jour s'élèvent à 5185 kcal, il faudrait apporter en réalité 1044 gr de poudre soit environ 600gr de poudre en plus. En suivant de tel programme, les veaux souffrent de sous nutrition. De plus, nous avons questionné les éleveurs sur leurs utilisation, et une grande partie utilise des quantités moindre de lactoreplaceurs par rapport à ce qui est mentionné sur l'étiquette. De fait, une sensibilisation des éleveurs sur l'importance de répondre aux besoins des veaux devrait être envisagé par les vétérinaire.

D'autre part, les lactoreplaceurs sont présentés comme des solutions économiques. Néanmoins, si on veut répondre aux besoins du veau, l'utilisation de ce lactoreplaceur engendre un cout journalier s'élevant à 3,15 € par jour, tandis qu'une distribution de lait entier, avec une bien meilleure digestibilité et un apport plus conséquent de protéines coûterait 3,16 €, en estimant le prix du lait à 0,40 centimes par litre.

En ce qui concerne les composants, les différentes proportions ne sont pas toujours mentionnée, il est donc difficile de juger de la digestibilité des lactoreplaceurs sans avoir une idée des différentes teneurs. L'ingrédient principal est souvent de la poudre de lait écrémé, le deuxième ingrédient principal est du lactosérum, une grande part de produits d'origine laitière présentant une bonne digestibilité est donc retrouvés dans ces lactoreplaceurs.

BIBLIOGRAPHIE

Berends, H., van Laar, H., Leal, L.N., Gerrits, W.J.J., Martín-Tereso, J., 2020. Effects of exchanging lactose for fat in milk replacer on ad libitum feed intake and growth performance in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 103, 4275–4287. doi:10.3168/jds.2019-17382

Bryant, J.M., Foreman, C.F., Jacobson, N.L., McGilliard, A.D., 1967. Protein and energy requirements of the young calf. *J. Dairy Sci.* 50, 1645–1653. doi:10.3168/jds.S0022-0302(67)87687-2

Drackley, J.K., 2008. Calf nutrition from birth to breeding. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 24, 55–86. doi:10.1016/j.cvfa.2008.01.001

Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations - PubMed [WWW Document], n.d. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19996480/> (accessed 5.20.23).

Gautier, F., Labussière, E., 2011. Origines alimentaires et digestion des nutriments chez le veau préruminant. *INRA Prod. Anim.* 24, 245–258.

Gerrits, W.J.J., 2019. Symposium review: Macronutrient metabolism in the growing calf. *J. Dairy Sci.* 102, 3684–3691. doi:10.3168/jds.2018-15261

Grant, I.R., Foddai, A.C.G., Tarrant, J.C., Kunkel, B., Hartmann, F.A., McGuirk, S., Hansen, C., Talaat, A.M., Collins, M.T., 2017. Viable *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* isolated from calf milk replacer. *J. Dairy Sci.* 100, 9723–9735. doi:10.3168/jds.2017-13154

Hand, M.S., Hunt, E., Phillips, R.W., 1985. Milk Replacers for the Neonatal Calf. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 1, 589–608. doi:10.1016/S0749-0720(15)31305-0

Heinrichs, A.J., 1993. Raising Dairy Replacements to Meet the Needs of the 21st Century. *J. Dairy Sci.* 76, 3179–3187. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77656-0

Hill, T.M., Aldrich, J.M., Schlotterbeck, R.L., Bateman, H.G., 2007. Effects of Changing the Fat and Fatty Acid Composition of Milk Replacers Fed to Neonatal Calves. *Prof. Anim. Sci.* 23, 135–143. doi:10.15232/S1080-7446(15)30953-0

Hopkins, D.T., Warner, R.G., Loosli, J.K., 1959. Fat Digestibility by Dairy Calves. *J. Dairy Sci.* 42, 1815–1820. doi:10.3168/jds.S0022-0302(59)90813-6

Kertz, A.F., Hill, T.M., Quigley, J.D., Heinrichs, A.J., Linn, J.G., Drackley, J.K., 2017. A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *J. Dairy Sci.* 100, 10151–10172. doi:10.3168/jds.2017-13062

Lammers, B.P., Heinrichs, A.J., Aydin, A., 1998. The Effect of Whey Protein Concentrate or Dried Skim Milk in Milk Replacer on Calf Performance and Blood Metabolites¹. *J. Dairy Sci.*

81, 1940–1945. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75767-4

Léonil, J., 2014. Les peptides bioactifs du lait et leur intérêt dans la prévention des maladies cardiovasculaires et du syndrome métabolique. *Médecine Mal. Métaboliques* 8, 495–499. doi:10.1016/S1957-2557(14)70863-6

LONGENBACH, J. I. et HEINRICHS, Arlyn Judson. A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves. *Animal feed science and technology*, 1998, vol. 73, no 1-2, p. 85-97.

Marcondes, M.I., Silva, A.L., 2021. Determination of energy and protein requirements of preweaned dairy calves: A multistudy approach. *J. Dairy Sci.* 104, 11553–11566. doi:10.3168/jds.2021-20272

McGuirk, S.M., 2008. Disease Management of Dairy Calves and Heifers. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., Dairy Heifer Management* 24, 139–153. doi:10.1016/j.cvfa.2007.10.003
Origines alimentaires et digestion des nutriments chez le veau préruminant [WWW Document], n.d. URL <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2016200190> (accessed 5.21.23).

Palczynski, L.J., Bleach, E.C.L., Brennan, M.L., Robinson, P.A., 2020. Appropriate Dairy Calf Feeding from Birth to Weaning: “It’s an Investment for the Future.” *Animals* 10, 116. doi:10.3390/ani10010116

Prix du lait : Bel et l’APBO trouvent un accord pour 2023 | Réussir lait [WWW Document], n.d. URL <https://www.reussir.fr/lait/prix-du-lait-bel-et-lapbo-trouvent-un-accord-pour-2023> (accessed 6.14.23).

Raubal, J., Heins, B.J., Chester-Jones, H., Diaz, H.L., Ziegler, D., Linn, J., Broadwater, N., 2019. Relationships between protein and energy consumed from milk replacer and starter and calf growth and first-lactation production of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 102, 301–310. doi:10.3168/jds.2018-15074

Rozemond, H., 1978. Le veau; anatomie, physiologie, élevage, alimentation, production, pathologie. *Livest. Prod. Sci.* 5, 321–322. doi:10.1016/0301-6226(78)90060-X
Ruminant Nutrition, n.d.

Schäff, C.T., Gruse, J., Maciej, J., Mielenz, M., Wirthgen, E., Hoeflich, A., Schmicke, M., Pfuhl, R., Jawor, P., Stefaniak, T., Hammon, H.M., 2016. Effects of Feeding Milk Replacer Ad Libitum or in Restricted Amounts for the First Five Weeks of Life on the Growth, Metabolic Adaptation, and Immune Status of Newborn Calves. *PLOS ONE* 11, e0168974. doi:10.1371/journal.pone.0168974

Thivend, P., 1979. La Digestion Des Glucides Chez Le Veau Non Sevré. *Ann. Nutr. Aliment.* 33, 233–245.

Toullec, R., Grongnet, J.F., Flageul, H., Lareynie, J., Lucas, P.M., 1990. Remplacement partiel

des protéines du lait par celles du blé ou du maïs dans les aliments d'allaitement : influence sur l'utilisation digestive chez le veau de boucherie. INRAE Prod. Anim. 3, 201–206. doi:10.20870/productions-animales.1990.3.3.4376

Toullec, R., Mathieu, C.-M., Bardy, J., Rigaud, J., Marpillat, C., 1969. UTILISATION DIGESTIVE DES MATIÈRES GRASSES ET DE LEURS PRINCIPAUX ACIDES GRAS PAR LE VEAU PRÉRUMINANT A L'ENGRAIS. INFLUENCE SUR LA COMPOSITION CORPORELLE. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys. 9, 139–160. doi:10.1051/rnd:19690201

Trocon, J.L., Toullec, R., 1989. Aliments d'allaitement pour veaux d'élevage. Remplacement de la poudre de lait écrémé par d'autres sources protéiques. INRAE Prod. Anim. 2, 117–128. doi:10.20870/productions-animales.1989.2.2.4406

Wilms, J.N., Ghaffari, M.H., Steele, M.A., Sauerwein, H., Martín-Tereso, J., Leal, L.N., 2022. Macronutrient profile in milk replacer or a whole milk powder modulates growth performance, feeding behavior, and blood metabolites in ad libitum-fed calves. J. Dairy Sci. 105, 6670–6692. doi:10.3168/jds.2022-21870

