



Symposium sur les bovins laitiers

Le mardi 24 octobre 2017
Centrexpo Cogéco, Drummondville

Les acides gras du lait nous parlent : comment décoder leurs messages?

Rachel Gervais, Ph.D., agr., professeure, Département des sciences animales
Université Laval

Collaborateur
Yvan Chouinard, Ph.D., agr.

Les acides gras du lait nous parlent : comment décoder leurs messages?

FAITS SAILLANTS

- La matière grasse laitière est composée de plus de 400 acides gras de différentes origines.
- Une analyse des teneurs en acides gras spécifiques du lait peut nous renseigner sur l'efficacité de la fermentation ruminale, la santé métabolique de la vache (ex. déficit énergétique), les émissions entériques de méthane et les conditions particulières de production (ex. lait de créneau).
- Le développement des analyses du profil en acides gras du lait par infrarouge permettrait de créer des outils diagnostiques rapides et peu coûteux comme aide à la régie des troupeaux.

INTRODUCTION

La teneur en énergie du lait entier est principalement déterminée par sa teneur en matière grasse. Au-delà de son caractère calorique, la matière grasse laitière est responsable de plusieurs des propriétés physiques, des qualités technologiques et des caractéristiques organoleptiques qui font du lait et des produits laitiers des composantes centrales de l'alimentation nord-américaine. La matière grasse est aussi la composante laitière la plus variable sur le plan de sa teneur ou de son profil. L'alimentation, le stade physiologique, la fermentation ruminale et l'environnement sont autant de facteurs qui influencent la production et la composition du gras laitier. Ces variations ont des impacts importants que ce soit d'un point de vue nutritionnel ou encore technologique, mais elles renferment aussi plusieurs informations précieuses pouvant nous aider dans le suivi de nos troupeaux laitiers.

LA MATIÈRE GRASSE LAITIÈRE

Le lait de vache contient entre 3 et 5 % de lipides présents sous forme de globules en suspension dans la phase aqueuse. Les globules de gras sont munis d'un noyau composé de lipides neutres. Ce noyau est entouré d'une double couche lâche composée de phospholipides, de protéines et de cholestérol. Les lipides neutres ou simples sont la principale composante de la matière grasse laitière et sont formés majoritairement de triacylglycérols (97-98 % de la matière grasse laitière). Plus de 400 acides gras (AG) différents forment les triacylglycérols du lait. Toutefois, seulement 12 de ceux-ci sont présents en concentration supérieure à 1 % (tableau 1).

Tableau 1. Teneur des principaux acides gras du lait¹

Acide gras	Désignation usuelle	Intervalle moyen (% pondéral)
4:0 ²	Butyrique	2-5
6:0	Caproïque	1-5
8:0	Caprylique	1-3
10:0	Caprique	2-4
12:0	Laurique	2-5
14:0	Myristique	8-14
15:0	Pentadécanoïque	1-2
16:0	Palmitique	22-35
16:1	Palmitoléique	1-3

17:0	Margarique	0,5-1,5
18:0	Stéarique	9-14
18:1 ³	Oléique	20-30
18:2	Linoléique	1-3
18:3	Linoléénique	0,5-2

¹Adapté de Jensen (2002).

²Par convention, le nombre d'atomes de carbone qui composent l'acide gras se retrouve à gauche alors que le nombre de liaisons insaturées présentes sur la chaîne d'acide gras est inscrit à droite. Par exemple, l'acide linoléique correspond au 18:2, ce qui signifie que l'acide gras est composé de 18 atomes de carbone et que 2 des liaisons qui lient ces atomes de carbone entre eux sont insaturées, ce qui en fait un acide gras à longue chaîne polyinsaturé.

³Contient approximativement 3 % d'isomères 18:1 *trans*.

COMMENT LES ACIDES GRAS SONT-ILS SYNTHÉTISÉS

Chez la vache, la matière grasse du lait provient de deux sources bien distinctes et la longueur de la chaîne carbonée indique l'origine des AG qui la composent. Les AG, dont la longueur de la chaîne se limite à 14 atomes de carbone, sont synthétisés dans la glande mammaire par une série de réactions biochimiques regroupées sous le terme de « **synthèse de novo** » (figure 1). Les AG à longue chaîne (15 atomes de carbone ou plus) sont transférés de la circulation sanguine à la glande mammaire. Ces AG proviennent de l'alimentation, de la mobilisation des graisses corporelles ou encore de la synthèse lipidique des microorganismes du rumen. Le cas de l'acide palmitique (16:0) est particulier puisqu'environ 50 % de la quantité sécrétée dans le lait provient de la synthèse *de novo* alors que l'autre moitié est prélevée de la circulation sanguine.

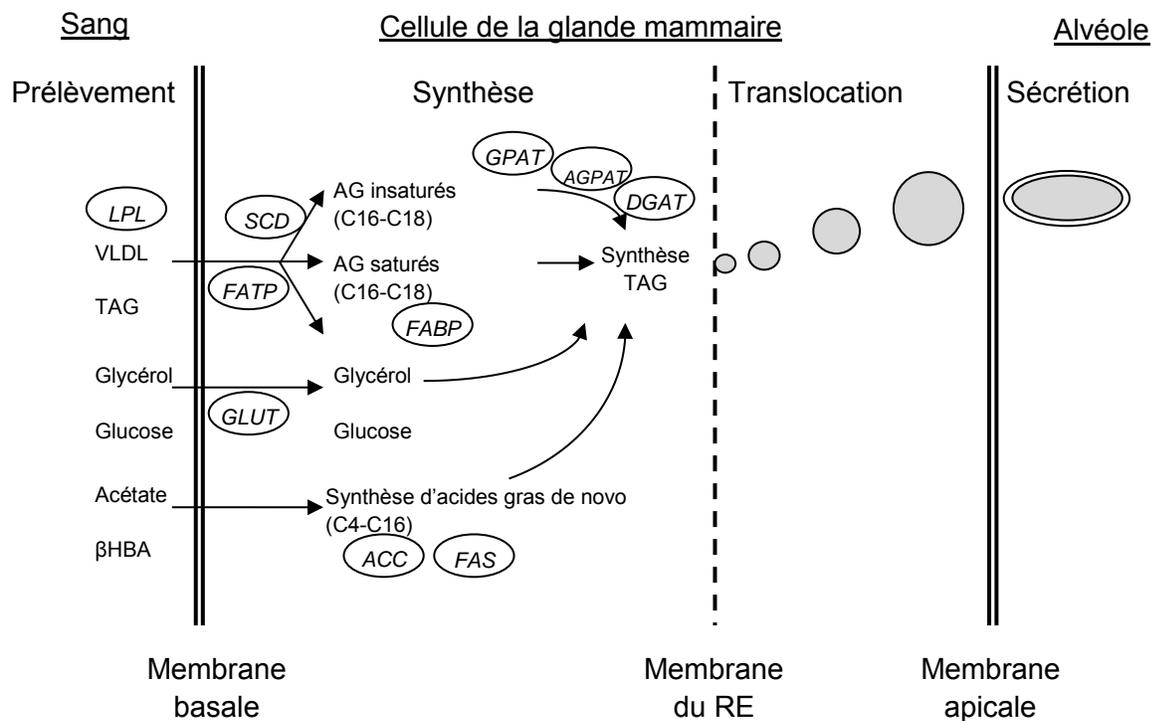


Figure 1. Diagramme représentant les principales activités enzymatiques ayant cours lors de la synthèse de la matière grasse laitière. ACC, acétyl-CoA carboxylase; AGPAT, acylglycérol-phosphate acyl-transférase; FAS, acide gras synthase; DGAT, diacylglycérol acyl-transférase; FABP, *fatty acid binding*

protein; FATP, *fatty acid transport protein*; GLUT, *glucose transporter*; GPAT, glycérol-3-phosphate acyl-transférase; β HBA, β -OH-butyrate; LPL, lipoprotéine lipase; RE, réticulum endoplasmique, SCD, stéaroyl-CoA désaturase; TAG, triacylglycérol; VLDL, *very low density lipoprotein*. Adaptée de Harvatine *et al.* (2009).

Synthèse de novo

Approximativement la moitié des AG que l'on retrouve dans le lait de vache est synthétisée *de novo* dans les cellules épithéliales de la glande mammaire. Chez le ruminant, le glucose de l'alimentation est presque entièrement métabolisé en AG volatils par les microorganismes lors de la fermentation ruminale. Pourtant, le glucose est un nutriment indispensable à plusieurs fonctions métaboliques. L'animal doit donc refaire du glucose pour maintenir sa glycémie via une série d'étapes regroupées sous le terme néoglucogénèse. Puisque cette voie métabolique requiert un investissement énergétique, le glucose ainsi produit sera réservé à des fonctions particulières, tels le maintien des activités du système nerveux et la synthèse du lactose dans la glande mammaire. Les produits de la fermentation microbienne deviennent alors une source de carbone alternative pour la synthèse des AG du lait chez le ruminant. L'acétate (2 atomes de carbone) et le butyrate (4 atomes de carbone) sont plus spécifiquement utilisés comme substrats pour la synthèse *de novo* des AG du lait. Ces deux composés sont prélevés de la circulation sanguine par les cellules de la glande mammaire et seront allongés par l'ajout successif de molécules à 2 atomes de carbone pour former une variété d'AG à courte et moyenne chaînes contenant un nombre pair d'atomes de carbone (C4 à C16).

Prélèvement des acides gras de la circulation sanguine

L'autre moitié des AG présents dans la matière grasse laitière sont des AG préformés et prélevés de la circulation sanguine par la glande mammaire (Bauman *et al.*, 2006). Ces AG proviennent en majorité de la digestion et de l'absorption des AG de la ration servie à l'animal (Palmquist et Conrad, 1971). Aussi, une quantité variable de ces AG provient de la mobilisation des réserves corporelles (Palmquist et Conrad, 1971). Enfin, une certaine proportion des AG du lait découle de la synthèse par les microorganismes du rumen (Jenkins, 1994). La quantité d'AG prélevée par la glande mammaire est fonction de leur concentration plasmatique (Chilliard *et al.*, 2001), l'utilisation d'AG préformés étant privilégiée par rapport à la synthèse *de novo*.

Les réserves corporelles comme source d'acides gras pour la synthèse de la matière grasse laitière

De façon générale, la mobilisation des réserves corporelles fournit moins de 10 % des AG nécessaires à la synthèse de gras du lait (Palmquist *et al.*, 1993). Cependant, tôt après le vêlage, cette proportion augmente considérablement, la vache ayant recours à la mobilisation du tissu adipeux pour répondre aux besoins énergétiques liés à la mise en place de sa lactation (Grummer, 2007). Ainsi, dans les premières semaines de lactation, les teneurs en AG à chaîne comprenant de 6 à 16 atomes de carbone sont plus faibles par rapport aux concentrations retrouvées à la fin du premier tiers de lactation, ceci traduisant une réduction de la synthèse *de novo*. La glande mammaire recouvre sa capacité à synthétiser *de novo* des AG lorsque l'animal retourne à un bilan énergétique positif, ce dernier ayant lieu entre 4 et 6 semaines après le vêlage. Le rapport entre les AG du lait synthétisés *de novo* et ceux prélevés de la circulation sanguine évolue donc au fil de la lactation, débutant autour de 1,0 dans les toutes premières semaines pour atteindre approximativement 1,4 au milieu de la lactation (Garnsworthy *et al.*, 2006).

La transformation des acides gras de la ration par les microbes du rumen

La teneur et le profil de la matière grasse du lait ont la particularité d'être largement influencés par les processus fermentaires ayant cours dans le système digestif de la vache. Les lipides alimentaires des ruminants sont riches en AG insaturés. Cependant, ces AG sont toxiques pour plusieurs microorganismes du rumen. Pour contrer les effets nocifs des AG insaturés, la population microbienne a recours à des mécanismes biochimiques, regroupés sous le terme de biohydrogénation, qui lui permettent de saturer les chaînes d'AG lors de leur passage dans le rumen. Cette biohydrogénation ruminale explique le ratio élevé d'AG saturés par rapport aux AG insaturés contenus dans le lait et la viande de ruminants. La biohydrogénation des AG se déroule en plusieurs étapes, chacune d'elles produisant des AG intermédiaires caractéristiques. Parfois, ces AG intermédiaires échappent aux étapes subséquentes de la biohydrogénation et sont absorbés tel quel par la paroi intestinale. Parmi ces intermédiaires, les acides linoléiques conjugués (ALC) ont retenu l'attention des spécialistes en nutrition animale en raison des effets biologiques importants qui leur sont associés. Entre autres, on reconnaît à l'ALC 18:2 *cis-9, trans-11* une aptitude à prévenir certains cancers ainsi que des effets anti-atherogéniques et antidiabétiques (Pereira, 2014). Encore aujourd'hui, on continue d'explorer le potentiel des ALC en tant qu'ingrédient bioactif d'un aliment fonctionnel. Il faut aussi comprendre que, dépendant des populations microbiennes qui prédominent dans le rumen, les étapes de la biohydrogénation seront différentes et donc les AG qui atteignent les sites d'absorption ne seront pas les mêmes.

La biosynthèse d'acides gras par les microbes du rumen

Dans le rumen, 10 à 15 % de la biomasse microbienne est constituée de lipides (Jenkins, 1993). Ces lipides proviennent de deux sources, soit l'incorporation des lipides alimentaires dans les membranes des cellules microbiennes et la synthèse par les microorganismes à partir des produits de fermentation disponibles dans le rumen. La contribution de chacune de ces sources évolue selon la teneur en lipides de la ration et les espèces formant la population microbienne (Harfoot et Hazlewood, 1988). Cette synthèse par les microorganismes produit essentiellement de l'acide palmitique et de l'acide stéarique (Knight *et al.*, 1979). Toutefois, les microbes du rumen synthétisent une certaine proportion d'AG à chaîne impaire et/ou ramifiée (Or-Rashid *et al.*, 2007). C'est en utilisant, au lieu des amorces habituelles fournissant deux (acétate) ou quatre (butyrate) atomes de carbone, une amorce offrant trois atomes de carbone (propionate) à laquelle elles ajouteront successivement des molécules à 2 atomes de carbone que les bactéries arrivent à former des AG dont la chaîne comprend un nombre impair d'atomes de carbone (15:0 et 17:0; Fulco, 1983; Kaneda, 1991; figure 2). Les AG à chaîne ramifiée sont, pour leur part, synthétisés à partir de différentes amorces issues du catabolisme des acides aminés [*iso*-valérate (*iso* 15:0, *iso* 17:0), 2-méthyl-butyrate (*anteiso* 15:0, *anteiso* 17:0) et *iso*-butyrate (*iso* 16:0); Vlæminck *et al.*, 2006; figure 2]. La capacité d'utiliser une ou l'autre de ces amorces est propre à chaque microorganisme (Vlæminck *et al.*, 2006). Ces AG d'origine microbienne pourront ensuite être absorbés dans l'intestin et incorporés à la matière grasse laitière.

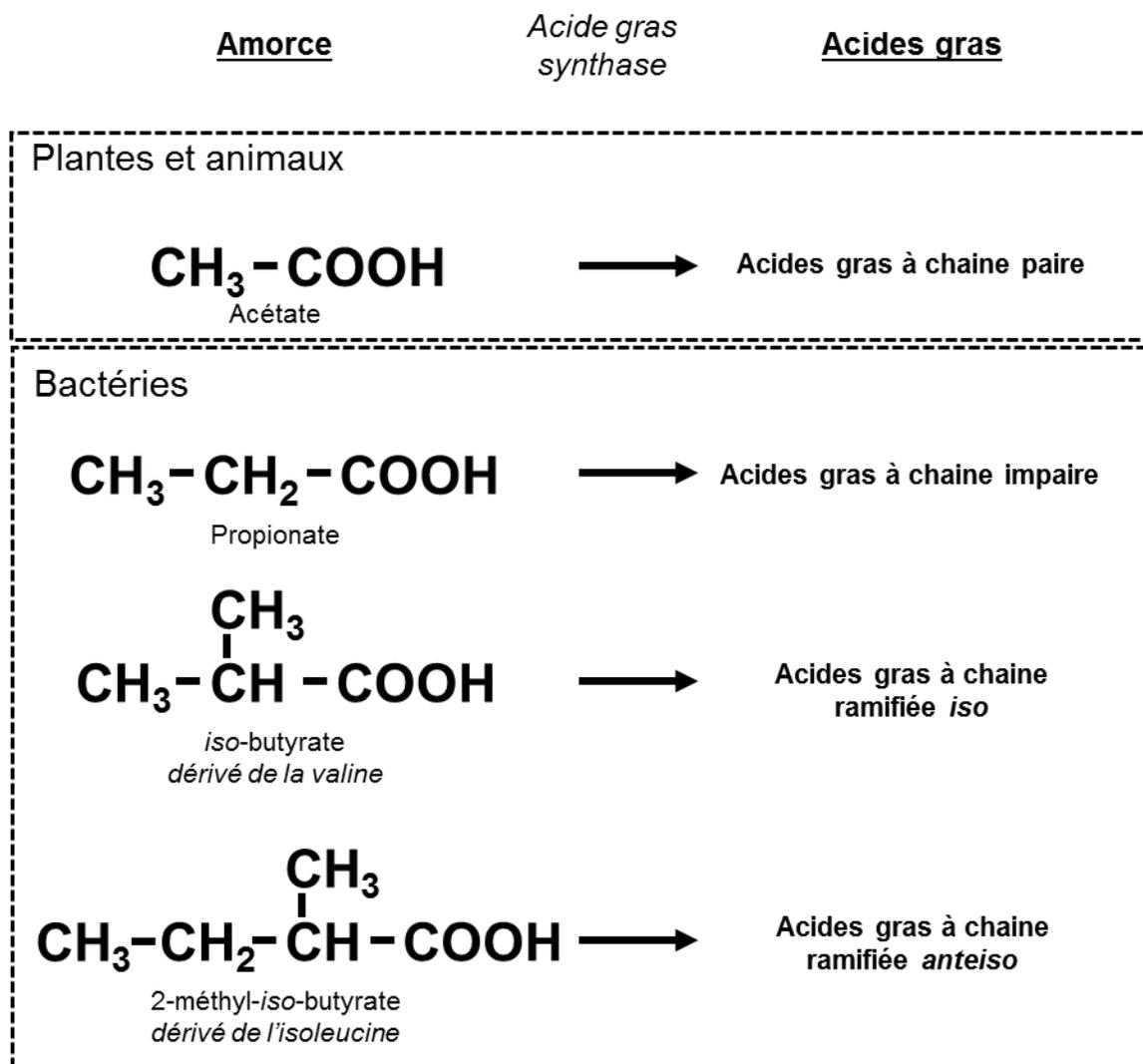


Figure 2. Amorces utilisées par les plantes, les animaux et les bactéries pour la biosynthèse des acides gras.

CE QUE NOUS RÉVÈLE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT

Récemment, des études conduites à l'Université Cornell, dans l'état de New York, ont mis en lumière des liens étroits entre la composition en AG du lait de réservoir et les pratiques de gestion ou encore les performances des troupeaux laitiers commerciaux du nord des États-Unis (Woolpert *et al.*, 2016, 2017). Par exemple, les troupeaux en stabulation libre qui présentaient un lait de réservoir dont la teneur en AG synthétisés *de novo* (<C16) était élevée étaient ceux pour lesquels la densité d'élevage (vaches/logette) était plus faible (figure 3). En stabulation entravée, la concentration de ces AG était plus élevée dans le lait des troupeaux où la ration était plus fréquemment repoussée devant les animaux (figure 4). Indépendamment du type de stabulation, de faibles teneurs en AG *de novo* dans le lait de réservoir étaient observées chez les troupeaux où la ration contenait de fortes proportions de lipides. Fait intéressant, la concentration de ces AG dans le lait de réservoir était également liée aux performances de production des troupeaux, notamment à la quantité de matières grasses et de protéines sécrétées quotidiennement dans le lait. Autrement dit, en conditions commerciales, une densité d'élevage inadéquate, un nombre de repas limité et une plus forte teneur en lipides dans la ration sont des facteurs de régie associés à de faibles teneurs en AG *de novo* dans le lait de même qu'à une réduction de la sécrétion des composantes laitières.

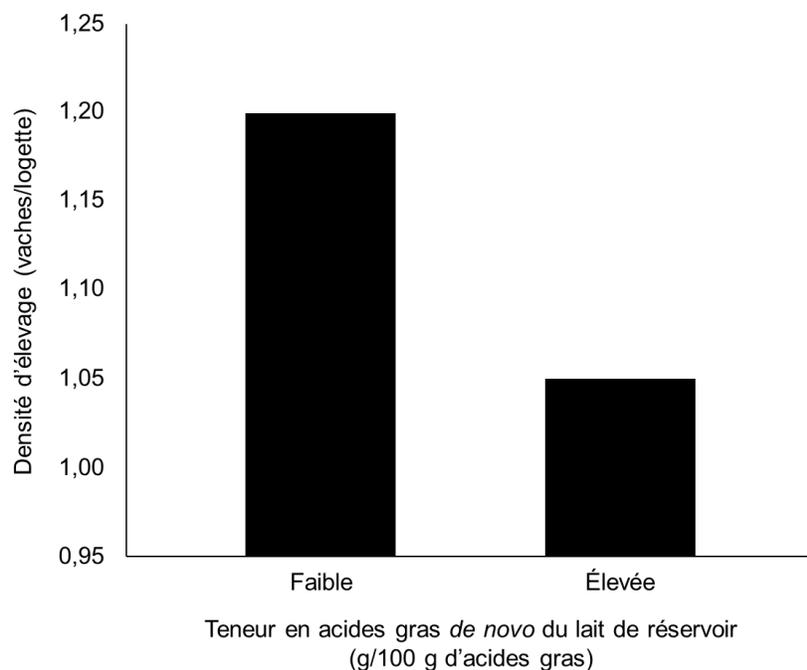


Figure 3. Densité d'élevage des fermes selon la teneur en acides gras *de novo* du lait de réservoir. Adaptée de Woolpert *et al.* (2016).

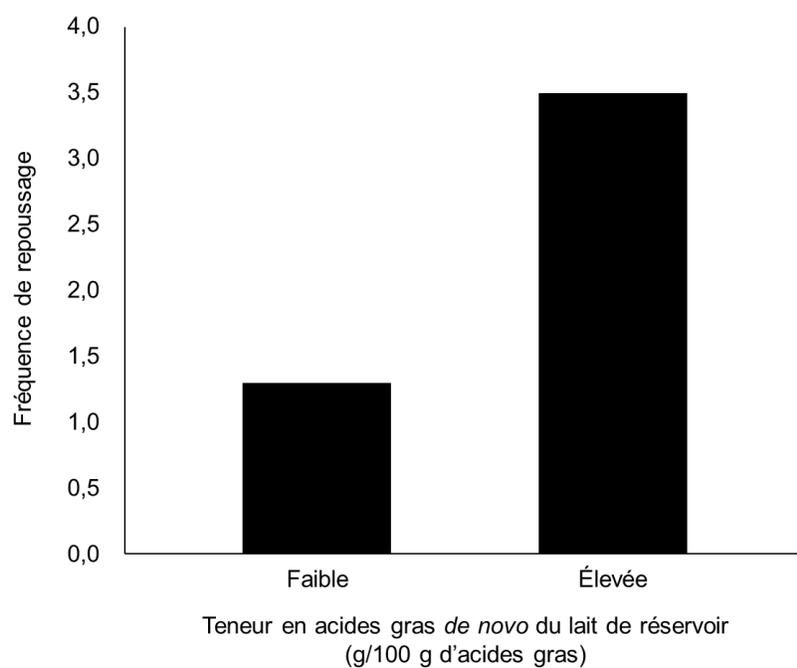


Figure 4. Fréquence quotidienne de repoussage de la ration selon la teneur en acides gras *de novo* du lait de réservoir. Adaptée de Woolpert *et al.* (2016).

À la lumière de ces quelques résultats, et considérant les liens étroits qui existent entre la composition de la matière grasse laitière et le métabolisme de la vache ou encore l'équilibre microbien du rumen, il est permis d'imaginer que le profil en AG du lait puisse servir à l'élaboration d'outils diagnostiques afin d'aiguiller le producteur de lait et lui permettre de prendre les meilleures décisions possibles quant à la régie de son troupeau. Les AG du lait nous parlent, écoutons-les nous jaser de ...

Santé et équilibre microbien du rumen

On observe un intérêt croissant pour l'utilisation des composantes du lait comme marqueurs de la fermentation ruminale et de la synthèse microbienne chez le bovin laitier. À ce sujet, les AG à chaîne impaire et/ou ramifiée, synthétisés par les microbes du rumen et transférés dans la matière grasse laitière sont une source précieuse d'information. Comme vu précédemment, chaque espèce bactérienne possède un profil en AG à chaîne impaire et/ou ramifiée qui lui est propre. Par exemple, les AG à chaîne impaire sont synthétisés à partir du propionate, un AG volatil dont la concentration dans le rumen est plus importante lorsque les rations contiennent peu de fourrages et davantage d'aliments concentrés. Dans de telles conditions, les bactéries qui digèrent l'amidon des céréales et du maïs, dites amylolytiques, se développeront plus aisément. Ce n'est donc pas étonnant que la concentration en AG à chaîne impaire soit plus importante chez ces bactéries. À l'inverse, les bactéries qui digèrent la fibre, ou bactéries cellulolytiques, sont plus riches en AG à chaîne ramifiée *iso*. Les AG à chaîne impaire et/ou ramifiée qui circulent dans le sang et qui peuvent être transférés dans le lait reflètent les différentes populations bactériennes qui se trouvent dans le rumen de l'animal et peuvent donc nous renseigner sur les conditions environnementales qui y prévalent. Plus concrètement, il est possible, à partir du profil en AG à chaîne impaire et/ou ramifiée du lait, d'estimer le flux d'azote microbien et donc l'efficacité de la synthèse microbienne (figure 5) ou encore d'obtenir une mesure indirecte du rapport acétate : propionate dans le rumen (figure 6), ce qui nous renseigne sur le type de fermentation qui y prédomine. Toutes ces informations peuvent aider le conseiller en nutrition à déterminer si la ration offerte aux animaux contribue au bon fonctionnement du rumen et donc favorise une utilisation optimale des aliments offerts.

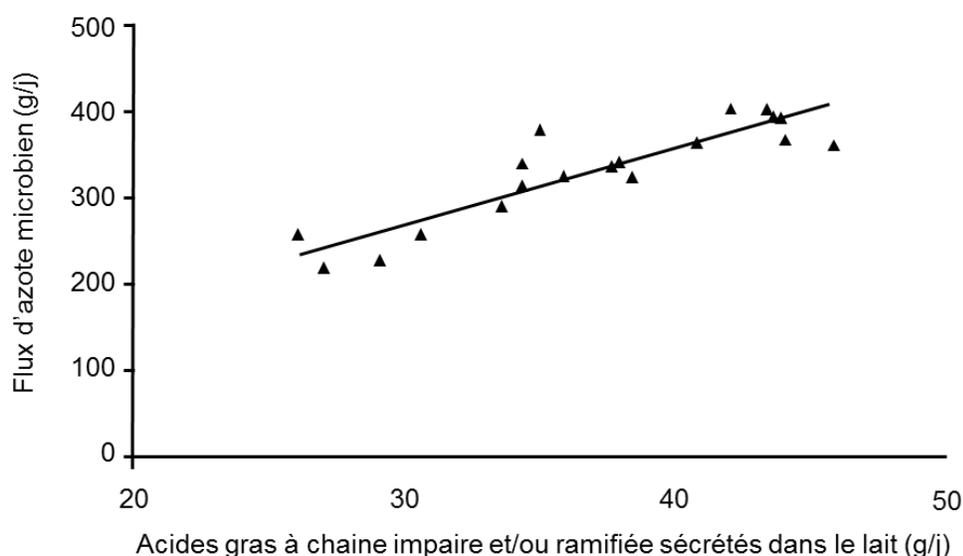


Figure 5. Association entre les sécrétions d'acides gras à chaîne impaire et/ou ramifiée dans le lait et le flux d'azote microbien au duodénum chez la vache en lactation. Adaptée de Vlæminck *et al.* (2006).

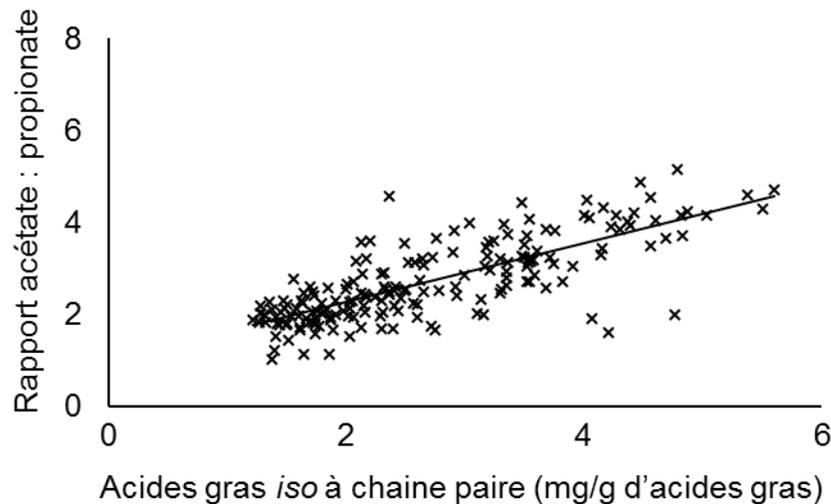


Figure 6. Association entre la concentration en acides gras *iso* à chaine paire de la matière grasse laitière et le rapport acétate : propionate du rumen. Adaptée de Baumann *et al.* (2017).

Les quantités importantes d'aliments consommés et la proportion élevée de concentrés devant être incorporés aux rations pour soutenir les besoins des vaches laitières haute-productrices induisent souvent des perturbations de l'équilibre du rumen. L'acidose ruminale subclinique est un problème majeur en production laitière auquel sont associées d'importantes pertes économiques, celles-ci résultant d'une diminution de la teneur en matière grasse et des volumes de lait produits, ainsi que d'une réduction de l'efficacité alimentaire et d'une réforme prématurée des animaux (Krause et Oetzel, 2005). Ces problèmes sont amplifiés par la difficulté à diagnostiquer ce désordre métabolique. À ce jour, différentes mesures associées au pH ruminal sont considérées comme les outils pour diagnostiquer l'acidose ruminale subclinique. Parmi celles-ci, on utilise de plus en plus la durée des périodes où le pH est sous les valeurs seuils de 5,5-5,8 pour caractériser l'acidose subclinique (Danscher *et al.* 2015). Parmi les techniques actuellement disponibles pour mesurer le pH ruminal en conditions commerciales, on retrouve la ruminocentèse et l'insertion orale d'une sonde stomacale (Enemark, 2008), celles-ci ne permettant malheureusement pas des mesures de pH en continu. Plusieurs centres de recherche ont évalué le potentiel d'utilisation de bolus munis d'électrode afin de mesurer le pH en continu. Cependant, à ce jour, les coûts associés à l'achat et à l'entretien (calibration) de ces équipements limitent leur potentiel d'utilisation en conditions commerciales.

Dans ce contexte, l'utilisation des AG du lait comme biomarqueurs du pH ruminal présente un potentiel intéressant. Plusieurs travaux ont effectivement montré une forte association entre certains AG du lait et le pH du rumen (Colman *et al.*, 2010, Baumann *et al.*, 2016). Or, la plupart de ces travaux ont été développés à partir de profils en AG déterminés en laboratoire par des appareils d'analyse très sophistiqués (chromatographie en phase gazeuse). Bien que ces outils de prédiction établissent certaines bases pour le développement d'outils diagnostiques intéressants pour le producteur, leur utilisation commerciale est limitée par le coût et le caractère fastidieux de ces procédures. Toutefois, plus récemment, notre équipe de recherche au Département des sciences animales de l'Université Laval a développé une équation pour prédire le pH ruminal à partir d'AG qu'il est possible de déterminer en utilisant des appareils de spectroscopie infrarouge, en quelques secondes et à une fraction du prix des analyses en chromatographie (figure 7). Ces observations laissent présager que, dans un avenir rapproché, il sera possible d'assurer un suivi continu de la santé ruminale à partir de simples échantillons de lait.

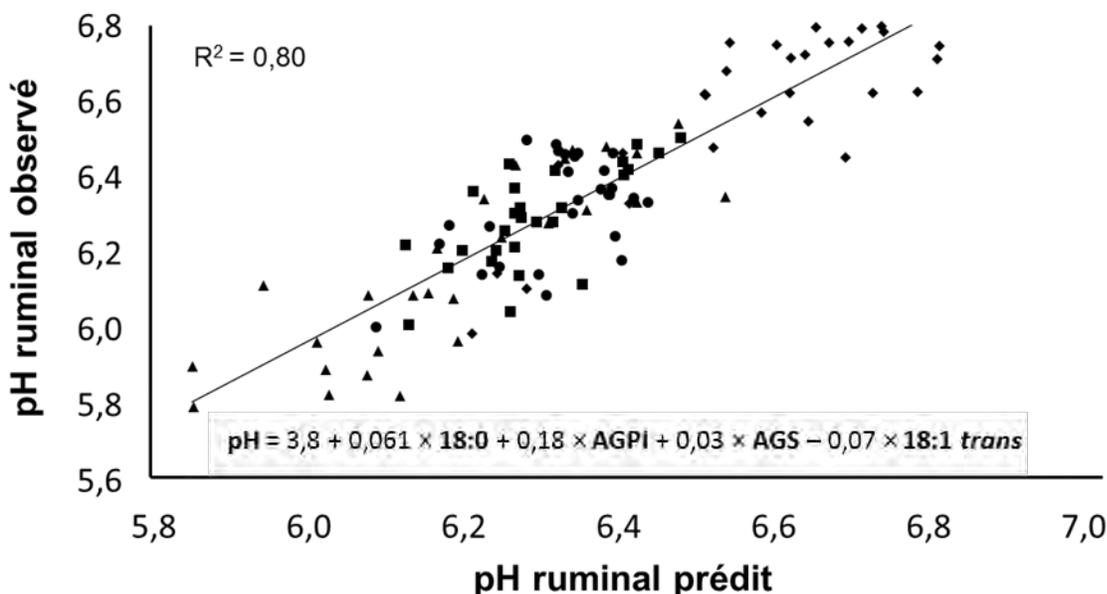


Figure 7. Prédiction du pH ruminal à partir du profil en acides gras du lait (g/100 g de gras). AGPI : acides gras polyinsaturés, AGS : acides gras saturés, ▲ : Hassanat *et al.* (2013), ■ : Hassanat *et al.* (2014), ● : Benchaar *et al.* (2014), ◆ : Leduc *et al.* (2017). Données non publiées.

Méthane

La fermentation des aliments dans le système digestif des ruminants entraîne la production de méthane. Les émissions de ce gaz à effet de serre représentent une perte énergétique d'environ 7 % pour l'animal, et contribuent à plus ou moins la moitié de l'empreinte carbone de la production du lait à la ferme (Couture et Lafontaine, 2013). Il existe plusieurs stratégies nutritionnelles permettant de réduire la production de méthane par les bovins. Cependant, l'adoption de ces nouvelles technologies passe inévitablement par l'élaboration d'une méthode simple et économique pour mesurer les émissions entériques de méthane chez nos animaux d'élevage. La méthode la plus précise pour obtenir ces mesures est l'utilisation de chambres respiratoires en station expérimentale. D'autres outils sont disponibles, par exemple le système GreenFeed® qui mesure simultanément les concentrations en gaz à effet de serre et les débits d'air émis lorsque les bovins visitent des mangeoires (Zimmerman, 2011). Bien que simples à utiliser, le coût de ces systèmes limite toujours leur utilisation en conditions commerciales.

Encore ici, les AG du lait s'illustrent comme biomarqueurs ayant un fort potentiel d'utilisation commerciale. Les émissions entériques de méthane sont très fortement liées à la production des AG volatils dans le rumen lors de la fermentation des aliments. Brièvement, la production d'acétate et de butyrate libère de l'hydrogène dans le milieu. Puisque l'hydrogène inhibe l'activité des bactéries du rumen, il doit être rapidement éliminé afin de ne pas nuire à la digestion microbienne. Les bactéries méthanogènes utilisent le gaz carbonique et l'hydrogène présents dans le rumen pour former du méthane qui pourra être éructé par l'animal. À l'inverse, la production de propionate requiert de l'hydrogène et donc limite la production de méthane. Une partie importante des AG volatils est absorbée à travers les parois du système digestif de l'animal et se retrouve en circulation dans l'organisme. Le propionate servira à la synthèse du glucose nécessaire, entre autres, à la formation du lactose dans la glande mammaire et influencera donc directement la quantité de lait produit par l'animal. L'acétate et le butyrate pourront quant à eux servir de substrats à la glande mammaire pour la synthèse *de novo* des AG.

En se basant sur ces connaissances, des chercheurs européens ont développé une équation de prédiction des émissions de méthane chez le bovin laitier qui tient compte à la fois de la production laitière des animaux et de la teneur en AG synthétisés *de novo* :

$$\text{Méthane produit (g/L de lait)} = 11,368 \times \frac{\text{g d'AG}^1 \text{ de novo } (\leq \text{C16})}{100 \text{ g d'AG totaux}} \times (\text{PL} \times 305)^{-0,4742}$$

AG : acides gras, PL : production laitière au jour du test (kg/j). Adaptée de Weill *et al.* (2014)

Cette équation simple fait l'objet d'un brevet (Weill *et al.*, 2014) et est présentement utilisée en Europe dans un contexte commercial. De plus, cette méthode d'analyse est reconnue par les Nations Unies dans le cadre de la démarche Éco-Méthane

(<https://ji.unfccc.int/JIITLProject/DB/RYA082JD926GFUJ7UB83321G0YBBPX/details>).

D'autres initiatives de nombreuses équipes de recherche ont donné naissance à plusieurs autres équations de prédiction de la production de méthane du bovin laitier à partir du profil en AG (Rico *et al.*, 2016; van Gastelen *et al.*, 2016, Van Lingen *et al.*, 2014). Notamment ici, au Québec, des équations ont été développées à partir d'expériences où les animaux recevaient différentes rations riches en fourrages et typiques de celles offertes dans les troupeaux laitiers canadiens (Rico *et al.*, 2016). Les efforts de recherche se poursuivent en vue de développer de nouveaux modèles précis et qui sont adaptés aux contextes variés dans lesquels évoluent les entreprises laitières à travers le monde.

Santé du bovin laitier

Chez la vache en transition, les besoins associés à la mise en place de la lactation, couplés à une réduction de la prise alimentaire, provoquent inévitablement un épisode de bilan énergétique négatif, particulièrement sévère dans les premières semaines suivant le vêlage. Pour pallier ce manque d'énergie, l'animal puisera dans ses réserves corporelles. La mobilisation du tissu adipeux entrainera une augmentation des concentrations en AG libres dans le sang. Lorsque le bilan énergétique négatif est trop important ou encore perdure dans le temps, la teneur en AG libres plasmatiques est excessive et conduit à une infiltration graisseuse du foie de l'animal. Cet état métabolique est à l'origine de plusieurs des maladies fréquemment rencontrées pendant la période entourant le vêlage. Les associations entre les teneurs plasmatiques en AG libres ou encore en β -hydroxy-butyrat (BHB) et des maladies telles que l'acétonémie, la mammite, le déplacement de la caillette et la stéatose hépatique, aussi appelée « maladie du foie gras » ont été abondamment documentées (LeBlanc, 2010). Récemment, des outils intéressants ont été développés qui permettent d'évaluer rapidement et à moindre coût les teneurs plasmatiques en BHB. Il est en effet possible, à l'aide d'un appareil de mesure de poche et de bandelettes jetables, de mesurer précisément la teneur en BHB plasmatique d'une vache. On peut également mesurer par infrarouge les teneurs en BHB du lait, celles-ci étant un reflet fidèle de leurs teneurs plasmatiques. À l'inverse, la détermination des concentrations en AG libres dans le sang requiert la collecte d'un échantillon sanguin et des analyses en laboratoire fastidieuses. De ce fait, nos connaissances sont encore limitées quant au bénéfice d'identifier et de traiter individuellement les animaux présentant de hautes teneurs en AG libres plasmatiques.

Le développement d'une méthode simple, rapide et peu coûteuse pouvant être incorporée à la routine quotidienne et permettant ainsi un suivi régulier de la fluctuation des teneurs en AG libres plasmatiques contribuerait à améliorer notre capacité à diagnostiquer rapidement les animaux à risque et réduire l'incidence des maladies métaboliques encore trop souvent rencontrées dans nos troupeaux. Comme il a été mentionné précédemment, les AG mis en circulation lors de la lipolyse du tissu adipeux sont des AG

à longue chaîne et ceux-ci peuvent être incorporés dans la matière grasse laitière. D'ailleurs, l'augmentation des teneurs en AG à longue chaîne dans la matière grasse laitière a été corrélée à l'intensité du bilan énergétique négatif (Gross *et al.*, 2011) ou encore à l'incidence d'acétonémie chez la vache laitière (Van Haelst *et al.*, 2008). Il est donc possible d'imaginer que le profil en AG du lait puisse contenir des indices avant-coureurs d'une mobilisation excessive du tissu adipeux. En surveillant la composition en AG du lait suite au vêlage, on pourrait ainsi identifier les animaux à risque avant même que ceux-ci ne présentent des taux élevés d'AG libres ou de BHB dans le sang. Plusieurs équipes de recherche travaillent actuellement à identifier les AG les plus prometteurs et à établir les concentrations limites qui pourraient servir au développement d'un outil simple, rapide et fiable (Mann *et al.*, 2016, Jorjong *et al.*, 2015, Dórea *et al.*, 2017). À titre d'exemple, Dórea *et al.* (2017) ont établi que la concentration en AG plasmatiques pouvait être prédite en déterminant le rapport entre les teneurs en 18:1 *cis*-9 et en 15:0 de la matière grasse laitière (figure 8).

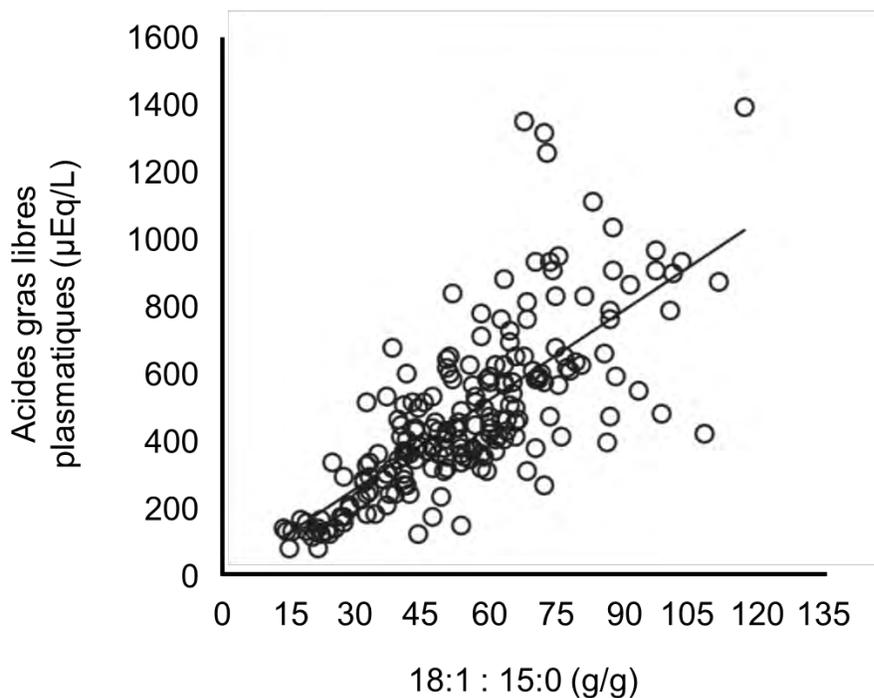


Figure 8. Association entre le rapport entre les teneurs en 18:1 *cis*-9 et en 15:0 de la matière grasse laitière et la concentration en acides gras libres du plasma. Adaptée de Dórea *et al.* (2017).

Assurance-qualité

Au Canada, comme ailleurs dans le monde, de nombreux marchés de créneau se développent et contribuent à la variété toujours grandissante de produits laitiers qui garnissent les étagères des supermarchés. Bon nombre de ces produits sont d'appellation réservée et sont donc issus d'un mode de production spécifique régi par un cahier des charges; le lait biologique est un exemple bien connu. Pour assurer la conformité des produits, les organismes de certification doivent se munir d'outils de contrôle fiables et efficaces. De toutes les composantes laitières, la matière grasse est celle qui, quantitativement et qualitativement, varie le plus.

Considérant l'importante influence des différents facteurs de régie sur la composition de la matière grasse du lait, la détermination du profil en AG peut servir d'outil de contrôle pour permettre la certification d'un lait de créneau. À ce sujet, les producteurs laitiers de l'Ontario travaillent actuellement au développement d'un cahier des charges pour la production de lait de vaches « nourries à l'herbe »

<https://www.milk.org/Corporate/PDF/GrassFedProtocol.pdf>.

Lorsqu'elles sont nourries majoritairement d'herbe, les vaches produisent un lait plus riche en AG oméga-3 et en ALC. On propose donc actuellement d'utiliser les normes suivantes pour valider le respect du cahier des charges par les producteurs participants :

- 4 milligrammes d'ALC par gramme d'AG totaux
- rapport $\frac{AG\ \text{oméga-6}}{AG\ \text{oméga-3}} \leq 2,5$

Il s'agit d'un exemple, mais considérant la plasticité de la matière grasse laitière face aux différents facteurs de régulation des troupeaux laitiers et l'avènement d'outils d'analyse performants et peu dispendieux, il est fort à parier que le recours au profil en AG comme mesure de traçabilité s'accroîtra rapidement dans les prochaines années.

CONCLUSION

La matière grasse laitière nous parle, encore faut-il décoder son langage. En effet, les procédures et appareils de laboratoire nécessaires à l'analyse détaillée de la composition en AG du lait demeurent onéreux et complexes. Heureusement, les avancées continues dans le domaine de la spectroscopie infrarouge nous permettent de rêver. En effet, plusieurs laboratoires, dont celui de Valacta, ici au Québec, travaillent ardemment au développement de technologies capables d'établir le profil en AG des échantillons de lait rapidement et à peu de frais. L'avènement de ces outils utilisables en contexte commercial nous permettra de mieux traduire les messages que nous transmettent les AG du lait. Ils en ont fort possiblement beaucoup plus long à dire que nous n'osons l'imaginer.

RÉFÉRENCES

- Bauman, D. E., I. H. Mather, R. J. Wall et A. L. Lock. 2006. Major advances associated with the biosynthesis of milk. *J. Dairy Sci.* 89:1235-1243.
- Baumann, E., P. Y. Chouinard, A. R. Alfonso-Avila et R. Gervais. 2017. Temporal changes of milk odd- and branched-chain fatty acids in response to acidogenic diets fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100, Suppl. 2:175. Abstr.
- Baumann, E., P. Y. Chouinard, Y. Lebeuf, D. E. Rico et R. Gervais. 2016. Effect of lipid supplementation on milk odd- and branched-chain fatty acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:6311-6323.
- Benchaar, C., F. Hassanat, R. Gervais, P. Y. Chouinard, H. V. Petit et D. I. Massé. 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed corn silage or barley silage based diets. *J. Dairy Sci.* 96:961-974.
- Chilliard, Y., A. Ferlay et M. Doreau. 2001. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : Acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Prod. Anim.* 14:323-335.
- Colman, E., W. B. Fokkink, M. Craninx, J. R. Newbold, B. De Baets et V. Fievez. 2010. Effect of induction of subacute ruminal acidosis on milk fat profile and rumen parameters. *J. Dairy Sci.* 93:4759-4773.
- Couture, J.-M. et M. Lafontaine. 2013. L'ACV en production laitière : pour mieux se comparer et s'améliorer! Le producteur de lait québécois. 33:32-36.

- Danscher, A. M., S. Li, P. H. Andersen, E. Khafipour, N. B. Kristensen et J. C. Plaizier. 2015. Indicators of induced subacute ruminal acidosis (SARA) in Danish Holstein cows. *Acta Vet. Scand.* 57:39.
- Dórea, J. R. R., E. A. French et L. E. Armentano. 2017. Use of milk fatty acids to estimate plasma nonesterified fatty acid concentrations as an indicator of animal energy balance. *J. Dairy Sci.* 100:6164-6176.
- Enemark, J. M. 2008. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. *Vet. J.* 176:32-43.
- Fulco, A. J. 1983. Fatty acid metabolism in bacteria. *Prog. Lipid Res.* 22:133-160.
- Garnsworthy, P. C., L. L. Masson, A. L. Lock et T. T. Mottram. 2006. Variation of milk citrate with stage of lactation and de novo fatty acid synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1604-1612.
- Gross, J., H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier et F. J. Schwarz. 2011. Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows. *J. Dairy Res.* 78:479-488.
- Grummer, R. R. 2007. Strategies to improve fertility of high yielding dairy farms: Management of the dry period. *Theriogenology* 68:S281-S288.
- Harfoot, C. G. et G. P. Hazlewood. 1988. Lipid metabolism in the rumen. Pages 285-322 dans *The Rumen Microbial Ecosystem*. P. N. Hobson et C. S. Stewart, ed. Elsevier Applied Science, London, United Kingdom.
- Harvatine, K. J., Y. R. Boisclair et D. E. Bauman. 2009. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal* 3:40-54.
- Hassanat, F., R. Gervais, C. Julien, D.I. Massé, A. Lettat, P.Y. Chouinard, H.V. Petit et C. Benchaar. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:4553-4567.
- Hassanat F., R. Gervais, D. I. Massé, H. V. Petit et C. Benchaar. 2014. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage- or alfalfa silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 97:6463-6474.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863.
- Jenkins, T. C. 1994. Regulation of lipid metabolism in the rumen. *J. Nutr.* 124:1372S-1376S.
- Jensen, R. G. 2002. The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 85:295-350.
- Jorjong, S., A. T. M. van Knegsel, J. Verwaeren, R. M. Bruckmaier, B. De Baets, B. Kemp et V. Fievez. 2015. Milk fatty acids as possible biomarkers to diagnose hyperketonemia in early lactation. *J. Dairy Sci.* 98:5211-5221.
- Kaneda, T. 1991. Iso- and anteiso-fatty acids in bacteria: Biosynthesis, function, and taxonomic significance. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 55:288-302.
- Knight, R., J. D. Sutton, J. Storry et P. Brumby. 1979. Rumen microbial synthesis of long-chain fatty acids. *Proc. Nutr. Soc.* 38:4A. Abstr.
- Krause, K. M. et G. R. Oetzel. 2005. Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3633-3639.

- LeBlanc, S. 2010. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *J. Reprod. Dev.* 56:S29-S35.
- Leduc, M., R. Gervais, G. F. Tremblay, J. Chiquette et P. Y. Chouinard. 2017. Milk fatty acid profile in cows fed red clover-or alfalfa-silage based diets differing in rumen-degradable protein supply. *Anim. Feed Sci. Technol.* 223:59-72.
- Mann, S., D. V. Nydam, A. L. Lock, T. R. Overton et J. A. A. McArt. 2016. Association of milk fatty acids with early lactation hyperketonemia and elevated concentration of nonesterified fatty acids. *J. Dairy Sci.* 99:5851-5857.
- Or-Rashid, M. M., N. E. Odongo et B. W. McBride. 2007. Fatty acid composition of ruminal bacteria and protozoa, with emphasis on conjugated linoleic acid, vaccenic acid, and odd-chain and branched-chain fatty acids. *J. Anim. Sci.* 85:1228-1234.
- Palmquist, D. L., A. D. Beaulieu et D. M. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76:1753-1771.
- Palmquist, D. L. et H. R. Conrad. 1971. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high grain or high fat diets. *J. Dairy Sci.* 54:1025-1033.
- Pereira, P. C. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition* 30:619-627.
- Rico, D. E., P. Y. Chouinard, F. Hassanat, C. Benchaar et R. Gervais. 2016. Prediction of enteric methane emissions from Holstein dairy cows fed various forage sources. *Animal* 10:203-211.
- van Gastelen, S. et J. Dijkstra. 2016. Prediction of methane emission from lactating dairy cows using milk fatty acids and mid-infrared spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* 96:3963-3968.
- Van Haelst, Y. N. T., A. Beeckman, A. T. M. Van Kneegsel et V. Fievez. 2008. Elevated concentrations of oleic acid and long-chain fatty acids in milk fat of multiparous subclinical ketotic cows. *J. Dairy Res.* 91:4683-4686.
- Van Lingen, H. J., L. A. Crompton, W. H. Hendriks, C. K. Reynolds et J. Dijkstra. 2014. Meta-analysis of relationships between enteric methane yield and milk fatty acid profile in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97:7115-7132.
- Vlæminck, B., V. Fievez, A. R. J. Cabrita, A. J. M. Fonseca et R. J. Dewhurst. 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131:389-417.
- Weill, P., G. Chesneau, Y. Chilliard, M. Doreau et C. Martin. 2014. U.S. Patent No. 8,642,100. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant et D. M. Barbano. 2016. Management, nutrition, and lactation performance are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on northeastern US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 99:8486-8497.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant et D. M. Barbano. 2017. Management practices, physically effective fiber, and ether extract are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on Holstein dairy farms. *J. Dairy Sci.* 100:5097-5106.
- Zimmerman, P. R. 2011. U.S. Patent No. 7,966,971. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.