



CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL D'EXPERTS

Revue de la littérature scientifique, vérification de faits, et identification de ce qui peut encore manquer dans la recherche en ce qui a trait aux caractéristiques des beurres canadiens



TABLE DES MATIÈRES

Introduction	5
Notes explicatives.....	5
Étendue des travaux.....	6
Création d'un groupe de travail d'experts	6
Sommaire	7
SECTION 1 – SANTÉ ET NUTRITION	
Chapitre 1 : un aperçu de la nutrition animale.....	9
Aperçu	9
Le rôle des lipides dans le régime alimentaire des vaches laitières.....	11
L'utilisation de dérivés de la culture de palme dans d'autres pays.....	13
Le rôle de l'Agence canadienne d'inspection des aliments dans la réglementation des aliments pour animaux.....	14
Chapitre 2 : résumé des effets potentiels de la teneur en matières grasses des produits laitiers sur la santé humaine	15
Aperçu	15
La teneur en matières grasses des produits laitiers.....	16
L'acide palmitique dans les produits laitiers.....	16
SECTION 2 – REVUE DE LA LITTÉRATURE ET SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES	
Chapitre 3 : principaux facteurs qui influent sur la composition en acides gras du lait	19
Aperçu	19
Facteurs zootechniques.....	19
Facteurs environnementaux.....	22
Facteurs alimentaires	23
Quantité et composition en AG des suppléments lipidiques.....	24
Ionophores.....	30
Autres facteurs	30
Chapitre 4 : variations régionales et saisonnières de la composition en acides gras du lait canadien.....	37
Aperçu	37

SECTION 3 – IMPACTS DES PROCÉDÉS DE FABRICATION SUR LES CARACTÉRISTIQUES DU BEURRE

Chapitre 5 : facteurs liés à la fabrication déterminant la fermeté du beurre	47
Aperçu	47
Composition du lait et son influence sur les propriétés rhéologiques du beurre	49
Influence des pratiques de collecte du lait sur la composition du lait	52
Étapes de fabrication du beurre	54
Chapitre 6 : perspectives des transformateurs	61
Aperçu	61
Disponibilité des données	61
Facteurs influant sur les propriétés du beurre.....	61
Vitesse de barattage et/ou temps de barattage	62

SECTION 4 – TESTS SUR LE BEURRE ET ANALYSE SCIENTIFIQUE

Chapitre 7 : propriétés fonctionnelles et composition en acides gras des beurres canadiens	63
Aperçu	63
Méthodologie	63
Résultats.....	65

SECTION 5 – PRODUCTION MONDIALE D’HUILE DE PALME

Chapitre 8 : l’huile de palme et ses utilisations	71
Une introduction à la culture du palmier	71
Pourquoi l’utilisation de l’huile de palme fait-elle débat	71
Utilisation de l’huile de palme au Canada.....	71
Efforts pour rendre la production d’huile de palme plus durable	72
Suppléments pour vaches.....	73

SECTION 6 – RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL D’EXPERTSP

Annexe 1 – Glossaire des termes clés et définitions techniques	76
Annexe 2 – Résumé des présentations d’experts au groupe de travail	78
Annexe 3 – Membres du groupe de travail d’experts et biographies	79



INTRODUCTION

Des rapports de la part des médias et des consommateurs ont soulevé des questions sur la consistance du beurre et sur l’utilisation de palmite comme suppléments alimentaires pour les vaches. Plus précisément, il a été affirmé que l’utilisation de suppléments de palmite a rendu la texture du beurre plus dure. En réponse à ces questions, les Producteurs laitiers du Canada (PLC) ont mis en place un groupe de travail d’experts pour évaluer ces rapports et trouver des explications fondées sur les faits. L’objectif global du groupe de travail d’experts est de tirer des conclusions fondées sur des données probantes sur la fermeté du beurre, et de déterminer s’il y a relation avec l’utilisation de suppléments de palmite pour les vaches, et ce en s’appuyant sur les meilleures données scientifiques disponibles.

Notes explicatives

- Pour les parties techniques et scientifiques du rapport (y compris les analyses documentaires et les analyses scientifiques), les auteurs des chapitres ont été indiqués. En outre, les références ont été laissées dans leur forme originale.
- Afin de garantir que ce travail contribue au corpus de connaissances scientifiques, le contenu est de nature technique. Pour cette raison, un glossaire des termes clés et des définitions techniques a été développé (voir Annexe 1). En plus du résumé de chaque chapitre, veuillez consulter le Sommaire des principales conclusions.
- Dans les sections de ce rapport consacrées à l’examen de la littérature et à l’analyse scientifique, toutes les sources sont énumérées à la fin de chaque chapitre.
- Pour la section sur les échantillons de beurre, les noms de marques spécifiques ont été expurgés afin de respecter la confidentialité commerciale et la vie privée.



Étendue des travaux

Le groupe de travail d'experts a défini la portée de ses travaux et a établi les objectifs clés suivants :

- Confirmer s'il y a ou s'il y a eu des changements dans les caractéristiques du beurre;
- Passer en revue la littérature afin d'évaluer la science actuelle en ce qui concerne :
 - » le palmitate dans l'alimentation des vaches;
 - » la composition du lait;
 - » les techniques de transformation du lait; et
 - » la santé et la sécurité des suppléments.
- Identifier les lacunes en matière de données ou de recherche;
- Examiner le niveau de durabilité des suppléments de palmitate;
- Évaluer le rôle et la valeur nutritionnelle des suppléments de palmitate pour les vaches laitières

Création d'un groupe de travail d'experts

Le groupe de travail d'experts comprend d'éminents universitaires et experts au Canada, dont l'expertise est très variée. Tous sont reconnus comme des chefs de file dans leur domaine, avec des spécialisations dans des domaines tels que la nutrition et la santé des bovins laitiers, la durabilité, la science alimentaire et la nutrition humaine. Le groupe comprend également une représentante de l'Association des consommateurs du Canada, et la participation de transformateurs laitiers et d'experts de groupes de producteurs laitiers. Le groupe s'est réuni sept fois de mars à novembre et a reçu des présentations et des rapports, ou a tenu des discussions avec plusieurs experts extérieurs.

Le groupe a également commandé deux collectes de données :

- Analyse, compilation et analyse statistique de la composition en acides gras du lait cru provenant de tout le Canada
- Collecte d'échantillons de beurre de détail dans tout le Canada pour fins d'analyse du profil des acides gras et des propriétés physiques.

Veillez consulter l'Annexe 2 pour un résumé des présentations faites au groupe de travail par des experts externes.

Veillez consulter l'Annexe 3 pour la liste complète des membres du groupe de travail d'experts et leur biographie.



SOMMAIRE

Il est généralement connu que le lait contient naturellement environ 4 % de matières grasses lorsqu'il sort du pis de la vache, mais les gens ne s'arrêtent probablement pas au mélange spécifique d'acides gras saturés et insaturés que contient leur lait. Il existe plusieurs types de gras saturés et de gras insaturés dans le lait – soit environ 400 acides gras différents. Par conséquent, quand les gens ont entendu pour la première fois le terme « acide palmitique », la plupart d'entre eux ne disposaient que de peu d'éléments pour comprendre sa signification dans le contexte scientifique plus large.

L'acide palmitique (C16:0) est un gras saturé, et l'acide gras prédominant dans le lait, indépendamment de ce que les vaches mangent. C'est également l'acide gras saturé le plus courant dans la nature. Les vaches produisent naturellement de l'acide palmitique, ainsi que des centaines d'autres acides gras dans leur lait. Les ingrédients des aliments pour animaux contiennent également de ces acides gras. Cependant, l'ajout de suppléments de palmitate dans l'alimentation des vaches n'est pas le principal facteur contribuant à la présence d'acide palmitique dans le lait. La plupart des C16:0 présents dans le lait proviennent de la vache qui mange des ingrédients alimentaires traditionnels (principalement du foin, de l'ensilage, de l'herbe, des

céréales, etc.) et qui fabrique naturellement des C16:0 dans sa glande mammaire (synthèse de novo).

En outre, la composition en acides gras du lait est influencée par une variété d'autres facteurs, notamment les saisons, le stade de lactation, la ration de la vache (influencée par la région géographique) et une série d'autres variables.

En ce qui concerne la transformation, la revue de la littérature indique que la manipulation de la crème, la température de stockage et le barattage sont des facteurs clés qui peuvent affecter les propriétés rhéologiques des produits finaux (par exemple, les points de fusion du beurre ou sa fermeté et sa « tartinabilité » perçue).

Des consultations approfondies avec les transformateurs ont permis de constater que, même si la demande s'est déplacée du secteur de la restauration et de l'hôtellerie vers le secteur de la vente au détail (en raison des fermetures de restaurants et des restrictions liées à la pandémie), il n'y a pas eu de changement significatif dans les processus et les pratiques de fabrication au cours des 18 mois menant au printemps 2021.

Un aspect essentiel de ce rapport a consisté à tester 40 échantillons de beurre vendus au détail dans tout le pays. La concentration en C16:0 de ces échantillons variait entre 32 et 35 g/100 g d'acides gras contenus dans le beurre mais pouvant aller jusqu'à 39 g /100 g d'acides gras. La littérature scientifique rapporte que, en raison du point de fusion élevé du C16:0, sa concentration dans le beurre est positivement corrélée avec le pourcentage de gras solide dans le beurre et sa fermeté à température ambiante. Cependant, cette analyse démontre que de nombreux autres acides gras du lait sont également associés positivement ou négativement au pourcentage de matière grasse solide dans le beurre à température ambiante et peuvent également avoir un impact sur sa fermeté.

Et si la teneur en acide palmitique du beurre vendu au détail varie d'un bout à l'autre du pays, cette variation ne peut pas être attribuée à un seul facteur, comme un supplément de gras dans l'alimentation des vaches.

En ce qui concerne la santé humaine, il devrait être bien compris que toute augmentation de la teneur en acide palmitique (C16:0) dans le beurre, qui serait induite par un changement d'alimentation de la vache, sera modeste, et il est extrêmement peu probable qu'elle ait des répercussions sur la santé humaine.

Selon l'Association de nutrition animale du Canada (ANAC), les producteurs laitiers qui utilisent un supplément de palmite en donnent généralement entre 200 et 600 grammes/vache/jour, lorsqu'ils l'utilisent. Selon les données d'importation, environ 35 000 tonnes métriques de ces suppléments sont importées au Canada en 2020, ce qui représente moins de 0,1 % de la production mondiale estimée d'huile de palme et de palmiste (huile dérivée des graines du fruit).

De fait, l'huile de palme est largement utilisée, en toute sécurité, dans de nombreux produits de l'industrie alimentaire, car elle est polyvalente et a de nombreuses fonctions différentes, comme celle de permettre qu'une tartinade s'étende plus facilement. Elle favorise une plus longue durée de conservation et est inodore (WWF).

Néanmoins, il y a des préoccupations très légitimes au sujet de la production mondiale d'huile de palme et ses impacts environnementaux et sociaux. Ces préoccupations concernent la déforestation, l'exploitation des travailleurs et les impacts négatifs généraux sur la biodiversité, les écosystèmes et la pollution, et restent des questions qui nécessitent des solutions mondiales.

Les efforts visant à rendre la production d'huile de palme plus durable sont en cours et sont encourageants. Les principales meuneries canadiennes qui offrent du palmite/ sous-produits de l'huile de palme s'approvisionnent auprès d'entreprises qui adhèrent aux idéaux de la Table ronde pour une huile de palme durable (RSPO), ou à d'autres systèmes de durabilité existants, et visent ainsi à accroître la durabilité globale de la production d'huile de palme.

Il est important de noter que les produits de palmite utilisés dans l'alimentation animale sont des sous-produits de la transformation de l'huile de palme et ne sont pas le moteur principal de la production d'huile de palme. Comme indiqué ci-dessus, les préoccupations de durabilité plus larges concernant la production mondiale d'huile de palme nécessitent une coopération internationale. Encore une fois, ce travail devrait être encouragé dans l'ensemble de la production et des utilisations de l'huile de palme.

À la suite de la publication d'un article en février 2021 exprimant des préoccupations au sujet de la consistance du beurre, les organisations de consommateurs au Canada ont reçu des contacts de personnes exprimant des préoccupations à ce sujet, en particulier en ce qui concerne l'utilisation du beurre dans la pâtisserie. Cependant, étant donné les autres problèmes qui se posaient à l'époque en raison de la pandémie, ces contacts n'étaient pas très répandus.

Le groupe de travail d'experts s'est réuni pour examiner ces questions, la littérature disponible et les analyses commandées. En fin de compte, il a observé qu'il n'y a pas de données qui soutiennent l'allégation selon laquelle il y a eu un changement dans la consistance du beurre au fil du temps. En raison de ce manque de données, il n'est pas possible de tester l'existence d'une relation de cause à effet, et donc de tirer des conclusions, sur le lien entre l'utilisation de suppléments de palmite dans les fermes canadiennes et la consistance du beurre au cours des dernières années. L'une des principales recommandations de ce rapport est la nécessité de disposer de données chronologiques de meilleure qualité et plus cohérentes, tant en ce qui concerne l'évolution du profil des acides gras du lait et du beurre que la dureté du beurre dans les étagères des magasins.

Les consommateurs peuvent rester confiants dans les cadres réglementaires complets qui sous-tendent le système alimentaire du Canada, les pratiques agricoles et agroalimentaires et la sécurité globale et nutritionnelle des produits alimentaires canadiens.

SANTÉ ET NUTRITION

Chapitre 1 : un aperçu de la nutrition animale

Auteur de ce chapitre : Daniel Lefebvre, Ph. D., PAS, Dipl. ACAN, agr., chef des opérations, Lactanet

Aperçu

Le gras du lait est l'un des mélanges naturels de lipides les plus complexes. Il est composé à 98 % de triglycérides : trois chaînes d'acides gras estérifiées à une molécule de glycérol. Les acides gras du lait sont soit synthétisés de novo (« à partir de zéro ») dans la glande mammaire, l'acétate produit par la fermentation dans le rumen étant le précurseur primaire, soit prélevés dans la circulation sanguine de la vache. Dans ce dernier cas, il s'agit principalement d'acides gras à longue chaîne (16 carbones ou plus) qui proviennent de l'alimentation de la vache ou sont mobilisés à partir des réserves de graisse corporelle lorsque les vaches sont en bilan énergétique négatif (c'est-à-dire qu'elles perdent du poids). Les acides gras synthétisés de novo ont une longueur de 4 à 16 carbones. La régulation de la synthèse des gras du lait est l'un des processus métaboliques les plus complexes chez les mammifères.

Les animaux d'élevage ont besoin d'une alimentation équilibrée contenant les nutriments, les liquides, les minéraux et les vitamines nécessaires. Cela permet aux animaux d'avoir la vitalité nécessaire pour grandir, développer un système immunitaire robuste et se reproduire, et de soutenir une production économique d'aliments de haute qualité.

Les producteurs laitiers travaillent en étroite collaboration avec des experts en nutrition animale pour formuler les rations alimentaires des bovins afin de faire correspondre l'apport en nutriments à leurs besoins, et pour soutenir la production et maintenir une santé optimale. Des animaux en bonne santé sont plus productifs. Au-delà de la productivité, les consommateurs sont également de plus en plus conscients de la qualité des aliments qu'ils achètent, de la santé et du bien-être des animaux producteurs d'aliments, ainsi que de la durabilité des systèmes de production alimentaire.

Les vaches sont des herbivores, ce qui signifie que leur alimentation est composée de matières végétales. Comme les moutons et les chèvres, ce sont des ruminants : au lieu d'avoir un seul estomac comme les humains, ils ont quatre compartiments stomacaux distincts qui permettent une digestion spécialisée des différents composants de leur régime riche en fibres. Cette relation symbiotique avec la microflore qui habite leur rumen permet aux ruminants de digérer des aliments riches en fibres, comme les plantes fourragères et des sous-produits/ résidus alimentaires qui seraient indigestes pour les non-ruminants, et de convertir ces produits en aliments hautement nutritifs pour les humains.

Aujourd'hui, les vaches laitières de haute production consomment environ 29 kg de matière sèche par jour. Les rations sont formulées pour maintenir les vaches en bonne condition tout en favorisant une production laitière élevée permise par leur potentiel génétique. La ration des vaches laitières est généralement composée d'une combinaison d'aliments cultivés à la ferme, de sous-produits alimentaires et de suppléments fabriqués commercialement. Les cultures de la ferme peuvent comprendre du foin, de l'herbe fraîche du pâturage, de l'ensilage, des céréales et des oléagineux. De nombreux sous-produits alimentaires, tels que les drêches de distillerie, les tourteaux d'oléagineux, certains déchets alimentaires comme les déchets de boulangerie et d'autres produits de l'industrie alimentaire, sont également approuvés comme sources d'alimentation pour les vaches laitières. Ils peuvent être incorporés à la ration des vaches directement à la ferme ou dans des suppléments fabriqués commercialement. Ces aliments commerciaux permettent de fournir aux vaches une alimentation appropriée en complétant la nutrition fournie par les cultures de la ferme. Ceci inclut tout apport nécessaire en énergie, protéines, vitamines, minéraux ainsi que d'autres additifs alimentaires spécialisés favorisant la santé et la productivité des animaux.

Pour s'assurer que les vaches laitières reçoivent une alimentation adéquate, les cultures de la ferme données aux vaches sont régulièrement testées. Les rations sont formulées en fonction des besoins des vaches en protéines et en énergie (fournis par les fibres, les glucides et les lipides), en minéraux et en vitamines. Les experts en nutrition des bovins laitiers testent les valeurs nutritives des cultures et utilisent ensuite ces résultats pour aider à formuler les régimes qui conviennent le mieux à des groupes spécifiques de vaches. Par exemple, les besoins alimentaires varient en fonction de leur taille, de leur niveau de production et du stade de lactation.

Les producteurs peuvent stocker leurs fourrages humides et fermentés sous forme d'ensilage ou secs sous forme de foin. Cela permet de garantir un approvisionnement en aliments pour animaux tout au long de l'année. Ces aliments sont généralement mélangés à des vitamines, des minéraux et d'autres suppléments pour créer ce que les producteurs appellent une « ration mélangée ». Ce mélange est généralement spécifique à chaque troupeau et aux classes d'animaux de ce troupeau (vaches en début de lactation, vaches tarées – qui ne sont pas en lactation – ou génisses de remplacement) et peut changer en fonction des recommandations d'un expert en nutrition bovine ou d'un vétérinaire.

Les producteurs peuvent ajouter des vitamines, des minéraux et des suppléments énergétiques et protéiques à l'alimentation pour s'assurer que leurs vaches sont en bonne santé et productives. Pour certaines fermes, les suppléments peuvent inclure une petite quantité de lipides tels que des produits du palmite qui sont inclus dans l'alimentation des vaches pour augmenter la densité énergétique de la ration et aider à répondre aux besoins énergétiques des vaches. Le niveau et l'utilisation des produits du palmite varient d'une ferme à l'autre, et dans les fermes où il est utilisé, il représente généralement moins de 1 % du régime alimentaire des vaches.

Les cultures fourragères cultivées à la ferme dépendent des régions, ce qui influence la composition du régime alimentaire des vaches. Par conséquent, les vaches des différentes régions du Canada ont des besoins en suppléments alimentaires différents. Par exemple, l'ensilage de maïs est largement cultivé dans l'Est du Canada et constitue souvent le fourrage de base de l'alimentation des vaches laitières, mais il n'est pas aussi largement disponible dans l'Ouest du Canada où l'ensilage d'orge est plus courant (Tableau 1). Étant donné que l'orge, sous forme d'ensilage ou de grain, fournit moins d'énergie digestible que le maïs et, qu'en raison de la saison de croissance plus courte, l'ensilage de maïs cultivé dans l'Ouest du Canada contient moins d'amidon et d'énergie, il est souvent plus difficile de répondre aux besoins énergétiques des vaches avec les rations de base de l'Ouest du Canada (Tableau 2).

Tableau 1 : Aliments courants utilisés dans l'Est et dans l'Ouest du Canada

TYPE D'INGRÉDIENT	EST DU CANADA	OUEST DU CANADA
Ensilage	Ensilage de maïs	Orge/ensilage de maïs (50/50)
Grains	Maïs	Principalement de l'orge
Autre	Farine de soja, fin gluten de maïs, drêche de distillerie	Farine de canola

Source : ANAC

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle typique des ensilages dans l'Est et dans l'Ouest du Canada

	Régions : QC et ON			Régions : AB, SK et MB		
	Ensilage de maïs*	Ensilage d'orge	Ensilage d'avoine	Ensilage de maïs*	Ensilage d'orge	Ensilage d'avoine
n	12,609	54	19	9,011	6,751	763
MS	38.2	34.1	32.8	35.2	33.1	32.7
PB	7.47	12.2	14.3	8.71	11.2	11.2
ADF	22.9	27.6	33.8	27.0	29.3	35.2
NDF	39.3	45.7	50.8	46.1	47.3	53.3
Ca	0.19	0.35	0.55	0.25	0.37	0.4
P	0.22	0.26	0.35	0.23	0.27	0.28
TDN	72.6	66.6	63.3	69.1	64.8	62.4
Amidon	35.7	15.6	3.97	23.2	17.0	9.99
Enl Mcal/kg	1.702	1.546	1.456	1.580	1.480	1.420
Enm Mcal/kg	1.770	1.568	1.456	1.620	1.480	1.400
Eng Mcal/kg	1.142	0.963	0.851	1.020	0.890	0.810

*avril 2018-2021

Le rôle des lipides dans l'alimentation des vaches laitières

La vache laitière moderne peut produire de grandes quantités de lait, riche en divers composants du lait, tels que les protéines et les matières grasses du lait. Une production élevée s'accompagne de besoins énergétiques importants pour que les vaches puissent atteindre leur potentiel génétique. La satisfaction des besoins énergétiques peut s'avérer difficile, surtout en début de lactation, lorsque la production de lait augmente plus rapidement que la quantité d'aliments consommés par la vache. Si l'énergie fournie par l'alimentation ne peut pas couvrir les besoins énergétiques de la vache, celle-ci présente un bilan énergétique négatif. Les vaches tentent alors de compenser le déficit énergétique en mobilisant les réserves d'énergie, qui se trouvent principalement dans le tissu adipeux. Ce processus est relativement normal pour les vaches à forte production, qui reconstituent leurs réserves énergétiques plus tard au cours de leur lactation. Un déficit énergétique aigu et prolongé peut entraîner une mobilisation excessive des graisses corporelles, ce qui pourrait à son tour provoquer des problèmes métaboliques et une baisse de la fertilité.

Les besoins énergétiques élevés sont généralement satisfaits en augmentant la proportion de concentrés, généralement du maïs et des céréales, qui sont généralement plus denses en énergie que les fourrages. Cette approche a toutefois ses limites, car un excès de céréales dans les rations des vaches laitières peut provoquer une acidose du rumen et des troubles digestifs.

Le gras étant le nutriment le plus dense en énergie, avec une valeur énergétique près de deux fois supérieure à celle des glucides, un supplément de gras est ajouté à la ration pour aider à couvrir les besoins énergétiques. L'apport de gras dans l'alimentation des vaches laitières fait l'objet de nombreuses études depuis des décennies. Les sources pratiques de gras pour compléter les rations des vaches sont les graines oléagineuses, les huiles végétales, les graisses animales (saindoux, suif) et les suppléments de matières grasses sèches disponibles dans le commerce.

Les ruminants ont une très faible tolérance aux acides gras insaturés en raison de leurs effets délétères sur la flore ruminale. C'est pourquoi les graines oléagineuses et les huiles végétales contenant une proportion importante d'acides gras insaturés (huile de maïs, huile de soja, huile de colza, etc.) ne peuvent être incluses dans l'alimentation des vaches laitières à des niveaux importants. La toxicité des acides gras insaturés pour la microflore du rumen peut être atténuée par la transformation chimique des acides gras en leurs sels de calcium.

Les sources d'acides gras saturés sont donc privilégiées comme suppléments lipidiques pour augmenter la densité énergétique des rations des vaches. En dehors des graisses animales, les dérivés de l'huile de palme sont la source de lipides ayant la teneur la plus élevée en acides gras saturés, et en tant que tels, ils présentent des propriétés très souhaitables en tant que source supplémentaire de gras dans les rations des vaches laitières.

Les sels de calcium des acides gras de palme sont approuvés et utilisés dans les rations des vaches laitières au Canada depuis plus de trente ans. Ces suppléments contiennent généralement 50 % d'acide palmitique (C16:0) et 35 % d'acide oléique (C18:1) comme principaux acides gras. Parmi les autres sources de graisses sèches commerciales, citons les acides gras hydrolysés perlés provenant du suif, qui contient généralement 45 % d'acide stéarique (C18:0) et 30 % d'acide palmitique. Les dérivés de l'huile de palme à haute teneur en acide palmitique sont apparus sur le marché plus récemment, au cours des 15 dernières années. Ils résultent du fractionnement et de la distillation de l'huile de palme et contiennent plus de 80 % d'acide palmitique (C16:0).

C16:0 – Acide palmitique

L'acide palmitique est l'acide gras saturé le plus courant dans la nature, chez les plantes, les animaux et les micro-organismes. Les sources courantes de C16:0 sont l'huile de palme, l'huile de noix de coco et la matière grasse du lait.

L'acide palmitique est l'acide gras prédominant dans la matière grasse du lait. Nourrir les vaches avec des suppléments de palmite peut augmenter le pourcentage de matière grasse du beurre de 0,2 à 0,4 point de pourcentage, selon la formulation de la ration. Cependant, la vache synthétise également la plupart des C16:0 dans sa glande mammaire. Une petite partie de tous les C16:0 trouvés dans le lait est le résultat de l'alimentation en suppléments de gras.

Une enquête menée en 2018 par Valacta auprès de 1 585 éleveurs laitiers québécois a rapporté que 22 % des fermes incluaient un supplément de palmite dans la ration de leurs vaches. Le taux d'inclusion moyen était de 236 grammes par vache et par jour. Selon l'Association de nutrition animale du Canada (ANAC), les producteurs laitiers du Canada qui utilisent des suppléments de palmite en donnent généralement entre 200 et 600 grammes/vache/jour. Les importations de ces suppléments alimentaires sont estimées à environ 35 000 tonnes métriques par an, ce qui représente moins de 0,1 % de la production mondiale estimée d'huile de palme et de palmiste (huile dérivée du noyau du fruit).

Selon l'ANAC, les suppléments de palmite sont utilisés dans plus de 60 pays, dont tous les plus grands pays producteurs de lait au monde.

Utilisation de suppléments dérivés de palme dans des pays choisis

La Nouvelle-Zélande et les Pays-Bas ont tous deux fait l'expérience de préoccupations liées à l'utilisation de suppléments dérivés de la palme. Voici un aperçu des discussions avec des parties prenantes de ces deux pays :

Nouvelle-Zélande

En Nouvelle-Zélande, le tourteau (PKE) résultant de la presse d'huile de palmiste (huile dérivée du noyau du fruit) est donné aux vaches pour leur fournir des protéines et de l'énergie, surtout pendant les périodes de sécheresse. Ce tourteau contient du gras, mais n'est pas destiné à donner uniquement du gras aux vaches, contrairement aux suppléments de palmite utilisés dans l'hémisphère nord. Le PKE est plutôt un sous-produit ou déchet restant une fois l'huile extraite. Il fournit divers nutriments aux vaches, et serait l'équivalent ici à nourrir les vaches avec des tourteaux d'oléagineux ou des grains broyés pour fabriquer de la bière.

En 2015, Fonterra, une coopérative de producteurs, aurait fixé une limite de 3 kg de PKE (sur 18 kg d'aliments) à donner aux vaches. Au fil des ans, elle a changé de tactique pour informer les producteurs, leur demandant de rencontrer un certain profil du lait, et leur fournissant de l'information scientifique sur les moyens d'obtenir ce profil du lait. Ainsi, Fonterra a développé un outil polyvalent permettant de comprendre la composition du lait, évaluant entre autres un indice des matières grasses du lait, et ainsi peut diriger divers laits à divers produits finis spécifiques.

L'industrie néo-zélandaise a élaboré des directives pour l'alimentation animale. Ils ont noté par exemple que les aliments riches en sucre ou en amidon influencent l'indice de gras. La production saisonnière en Nouvelle-Zélande est un facteur important qui peut entraîner une variabilité à court terme de l'indice de matière grasse du lait. D'autres facteurs sont le stade de lactation, la race des vaches et la fréquence de la traite.

De plus, Fonterra s'est impliquée dans l'initiative RSPO dans le cadre de son engagement à contribuer au développement durable de l'industrie de l'huile de palme.

Les Pays-Bas

Aux Pays-Bas, 70 % des producteurs sont membres de la coopérative Friesland Campina. La coopérative est devenue membre de la RSPO afin de rester informée des questions liées aux problèmes de durabilité. Pendant un été chaud, lorsque les vaches mangeaient moins les experts en nutrition des vaches ont suggéré la supplémentation d'un produit du palmiste. Cependant, il était coûteux et créait des tensions entre les fournisseurs d'aliments pour animaux et les producteurs laitiers.

Tout comme au Canada, les producteurs reçoivent des informations sur le rendement en protéines, le rendement en gras, l'urée, la température du lait, le point de congélation et le rendement global du lait. Ils reçoivent également un profil complet des acides gras de leur lait, grâce à une analyse par spectrométrie infrarouge.

Dans l'ensemble, ces exemples montrent que les producteurs laitiers du monde entier s'attardent constamment à préserver la santé et le bien-être de leurs animaux, tout en maximisant les gains d'efficacité et sont ouverts à essayer divers moyens novateurs et durables dans leurs pratiques agricoles.

Le rôle de l'Agence canadienne d'inspection des aliments dans la réglementation des aliments pour animaux

La fabrication, la vente et l'importation d'aliments pour le bétail, y compris les suppléments alimentaires, sont réglementées au Canada par la Loi relative aux aliments du bétail et sa réglementation correspondante et sont administrées par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).

Les pouvoirs législatifs en vertu desquels l'ACIA réglemente les aliments pour animaux sont les suivants :

- La Loi relative aux aliments du bétail
- Le Règlement concernant la réglementation et le contrôle des aliments du bétail
- La Loi sur la santé des animaux
- Le Règlement sur la santé des animaux
- Le Règlement sur les produits biologiques

Tous les aliments pour animaux doivent être sans danger pour le bétail et pour les humains (tant le transfert potentiel de résidus dans la viande, le lait et les œufs destinés à l'alimentation humaine que l'exposition des travailleurs et des passants). La sécurité pour l'environnement au Canada est également évaluée.

Il faut également démontrer que les aliments pour animaux sont efficaces pour l'usage auquel ils sont destinés. Les ingrédients approuvés des aliments pour animaux sont énumérés et définis dans les annexes IV et V du Règlement concernant la réglementation et le contrôle des aliments du bétail, avec les garanties, normes et exigences d'étiquetage appropriées. Tous les aliments importés doivent répondre aux mêmes normes que les aliments produits au pays.

Les suppléments de palmitate sont approuvés comme ingrédients d'aliments pour animaux par l'ACIA.

Résumé du chapitre :

- Les producteurs travaillent en étroite collaboration avec des experts en nutrition pour s'assurer que chaque ration répond aux besoins alimentaires essentiels de l'animal au cours des différentes étapes de sa vie.
- La fabrication, la vente et l'importation d'aliments pour le bétail, y compris les suppléments de palmitate, sont réglementées au Canada par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).
- Les choix des cultures agricoles varient selon la région climatique, ce qui influence le régime alimentaire des vaches. Par conséquent, les vaches de l'Ouest du Canada ont des besoins en suppléments alimentaires différents de celles de l'Est du Canada.
- Le gras étant le nutriment le plus dense en énergie, soit le double de la valeur énergétique des glucides, un supplément de gras est ajouté à la ration pour aider à couvrir les besoins énergétiques des vaches à forte production. Cela est particulièrement important pendant les mois d'été chauds, lorsque les vaches mangent moins ou lorsque la teneur en nutriments et en énergie des cultures est moindre.
- L'acide palmitique (C16 :0) est l'acide gras saturé le plus courant dans les plantes, les animaux et les micro-organismes.
- L'acide palmitique est l'acide gras prédominant que l'on trouve naturellement dans le lait. La vache synthétise le C16:0 dans sa glande mammaire. Nourrir les vaches avec du palmitate, qui a une teneur élevée en acide palmitique, peut augmenter le pourcentage de matière grasse de 0,2 à 0,4 point de pourcentage, selon la formulation de la ration. La vache synthétise le C16:0 dans son pis, et le C :16 trouvé dans le lait n'est pas seulement le résultat d'un ajout de suppléments.
- Les suppléments de palmitate sont utilisés dans l'alimentation du bétail laitier dans plus de 60 pays, dont les plus grands pays producteurs de lait au monde

Chapitre 2 : Résumé de la littérature sur l'impact potentiel sur la santé humaine

Auteurs de ce chapitre :

- Anthony Hanley, Ph. D., Professeur, Département de Sciences nutritionnelles, University of Toronto
- Richard Bazinet, Ph. D., Professeur et Chaire de recherche du Canada, Département de Sciences nutritionnelles, University of Toronto

Aperçu

Les produits laitiers ont fait l'objet de nombreuses études quant à leur impact potentiel sur la santé humaine. La teneur en gras saturés des produits laitiers est principalement étudiée pour son association avec l'obésité et les résultats cardiométaboliques associés, notamment le diabète de type 2 (DT2) et les maladies cardiovasculaires (MCV). C'est dans ce contexte que le présent rapport examine de près les questions liées à la supplémentation en lipides des vaches laitières et l'hypothèse selon laquelle elle pourrait avoir un impact sur la teneur en matières grasses des produits laitiers.

Bien qu'une grande partie des discussions et de la couverture médiatique a soulevé des questions sur l'impact du beurre et ses effets potentiels sur la santé, il est important de reconnaître que le lait des vaches laitières (indépendamment de la supplémentation en lipides) est utilisé dans une série de produits de grande consommation, notamment le lait, le fromage, le yogourt et la crème glacée. Néanmoins, compte tenu des récentes préoccupations des consommateurs, nous avons, dans la mesure du possible, mis en évidence les données pertinentes portant spécifiquement sur les effets du beurre sur la santé.

L'impact de la consommation de produits laitiers sur les changements de poids corporel et de répartition des graisses corporelles a été étudié dans plusieurs études d'observation et essais contrôlés aléatoires (1, 2). Malgré la teneur en gras saturés des produits laitiers, des preuves de plus en plus nombreuses suggèrent que les produits laitiers peuvent avoir un impact protecteur important sur la régulation du poids corporel (3). Une récente méta-analyse de 22 cohortes prospectives a montré que si la consommation totale de produits laitiers n'était pas associée à des changements de poids corporel, il existait une association inverse entre les produits laitiers et les changements dans l'obésité abdominale, le tour de taille et le risque de surpoids incident (1).

De même, un nombre croissant de preuves suggère qu'une consommation plus importante de produits laitiers peut être associée à une réduction du risque de DT2. Cinq des six méta-analyses récentes d'études prospectives d'observation ont montré que la consommation totale de produits laitiers était significativement associée de manière inverse au risque de DT2 (RR=0.85-0.97) (4-9). Par exemple, une méta-analyse publiée en 2017 par Schwingshackl et al. sur 21 études de cohorte a révélé un risque de DT2 inférieur de 9 % pour une consommation élevée par rapport à une consommation faible de produits laitiers totaux (RR: 0.91, 95 % CI=0.85, 0.97) (9). Aucune de ces méta-analyses n'a mis en évidence de biais de publication. Dans une revue générale des études d'observation réalisée en 2020, la consommation totale de produits laitiers avait des liens neutres (maladies coronariennes, mortalité due aux MCV) ou inverses (incidence des MCV, accidents vasculaires cérébraux, mortalité due aux accidents vasculaires cérébraux et pression artérielle) avec les résultats des MCV ou les phénotypes intermédiaires de MCV (10).

En ce qui concerne la teneur en matières grasses des produits laitiers, des méta-analyses d'études de cohorte ont montré des associations inverses significatives entre les produits laitiers à faible teneur en matières grasses et le DT2, et des associations neutres avec les produits à plus forte teneur en matières grasses (5, 9, 10). Les résultats des méta-analyses des sous-types de produits laitiers sont moins cohérents d'une étude à l'autre, bien que collectivement les données indiquent des associations inverses ou neutres du lait, du fromage et du yogourt avec une série de résultats cardiométaboliques (10).

Très peu d'études ont analysé les données relatives au beurre de manière individuelle. Dans une méta-analyse de 2016 portant sur 15 études de cohorte (6,5 millions d'années-personnes de suivi, >28 000 décès au total, >9 000 cas incidents de MCV et >23 000 cas incidents de DT2), la consommation de beurre était faiblement associée à la mortalité toutes causes confondues (RR = 1,01, IC95 % = 1,00-1,03, p=0,045), mais n'était pas significativement associée aux MCV (RR = 1,00 (0,98-1,02), p=0,7), aux coronaropathies (RR = 0,99 (0,96-1,03), p=0,5) ou aux accidents vasculaires cérébraux (RR = 1,01 (0,98-1,03), p=0,7) (11). Dans cette analyse, la consommation de beurre était inversement associée à l'incidence du diabète (RR = 0,96 (0,93-0,99), p= 0,02) (11). Dans une revue générale d'études d'observation réalisée par Godos et al. (10), la consommation de beurre n'a pas été associée de manière significative à la mortalité due aux accidents vasculaires cérébraux, aux maladies coronariennes ou à toutes les autres causes.

La teneur en matières grasses des produits laitiers

Les produits laitiers contiennent un profil lipidique complexe comprenant des acides gras saturés, polyinsaturés et monoinsaturés. Le profil des acides gras des produits laitiers est unique, car il comprend des espèces qui sont soit spécifiques aux produits laitiers, soit pour lesquelles les produits laitiers constituent la source alimentaire la plus importante. Parmi les exemples, citons les acides gras à chaîne impaire, à chaîne ramifiée, trans et conjugués; en effet, nombre de ces acides gras sont de plus en plus utilisés comme biomarqueurs de la consommation dans les études de recherche sur l'homme, et il a été démontré que certains d'entre eux ont des propriétés bioactives (12). Récemment, une vaste méta-analyse du consortium FORCE a regroupé les résultats de 16 études de cohorte prospectives et a indiqué que des taux plus élevés de 15:0, 17:0 et t16:1n-7 étaient associés à un risque plus faible de DT2 (13). Plus récemment, les acides gras à chaîne ramifiée (AGCR, y compris plusieurs espèces iso et ante-iso) ont fait l'objet d'une attention scientifique accrue en raison de leur rôle potentiel dans l'étiologie des maladies cardiométaboliques (14, 15).

Palmitate/acide palmitique dans les produits laitiers

Les produits laitiers sont une source importante d'apport en palmitate chez l'être humain, contribuant à environ 23 % du total des gras saturés (16) [à noter que ce total inclut d'autres acides gras que le seul palmitate]. Fait important, l'augmentation prévue de la teneur en palmitate du beurre se situe entre 6 et 17 %. Bien que l'on ne sache pas exactement quel pourcentage de palmitate alimentaire provient de la consommation de beurre chez les Canadiens, même si l'on suppose que l'apport total en gras saturés provenant des produits laitiers (23 %) augmente de 6 à 17 %, cela représenterait tout de même une faible augmentation dans l'apport alimentaire. Il est important de noter que ce chiffre est surestimé, car le beurre ne représente qu'une fraction de la consommation totale de produits laitiers et le beurre et les produits laitiers contiennent d'autres acides gras saturés que le palmitate. Ainsi, toute augmentation du palmitate total dans le lait ou le beurre due à la présence de palmitate dans l'alimentation des vaches sera négligeable, et il est extrêmement peu probable qu'elle ait des répercussions sur la santé humaine.

Résumé du chapitre

- Les produits laitiers ont fait l'objet de nombreuses études quant à leur impact potentiel sur la santé humaine.
- Les produits laitiers sont une source importante d'apport en palmitate chez l'être humain, contribuant à environ 23 % des saturés totaux (apport en gras saturés).
- Bien que le pourcentage de palmitate alimentaire provenant de la consommation de beurre chez les Canadiens n'est pas connu, il ne représente qu'une fraction de la consommation totale de produits laitiers.
- Ainsi, toute augmentation du palmitate total dans le lait ou le beurre qui serait associé à l'utilisation de supplément de palmitate dans l'alimentation de la vache sera négligeable, et il est extrêmement peu probable qu'elle ait des répercussions sur la santé humaine.

Références

- » Schwingshackl L, Hoffmann G, Schwedhelm C, Kalle-Uhlmann T, Missbach B, Knuppel S, et al. Consumption of Dairy Products in Relation to Changes in Anthropometric Variables in Adult Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *PLoS One*. 2016;11(6):e0157461.
- » Chen M, Pan A, Malik VS, Hu FB. Effects of dairy intake on body weight and fat: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr*. 2012;96(4):735-47.
- » Louie JC, Flood VM, Hector DJ, Rangan AM, Gill TP. Dairy consumption and overweight and obesity: a systematic review of prospective cohort studies. *Obes Rev*. 2011;12(7):e582-92.
- » Tong X, Dong JY, Wu ZW, Li W, Qin LQ. Dairy consumption and risk of type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of cohort studies. *Eur J Clin Nutr*. 2011;65(9):1027-31.
- » Gijsbers L, Ding EL, Malik VS, de Goede J, Geleijnse JM, Soedamah-Muthu SS. Consumption of dairy foods and diabetes incidence: a dose-response meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr*. 2016;103(4):1111-24.
- » Aune D, Norat T, Romundstad P, Vatten LJ. Dairy products and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Am J Clin Nutr*. 2013;98(4):1066-83.
- » Gao D, Ning N, Wang C, Wang Y, Li Q, Meng Z, et al. Dairy products consumption and risk of type 2 diabetes: systematic review and dose-response meta-analysis. *PLoS One*. 2013;8(9):e73965.
- » Elwood PC, Pickering JE, Givens DI, Gallacher JE. The consumption of milk and dairy foods and the incidence of vascular disease and diabetes: an overview of the evidence. *Lipids*. 2010;45(10):925-39.
- » Schwingshackl L, Hoffmann G, Lampousi AM, Knuppel S, Iqbal K, Schwedhelm C, et al. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur J Epidemiol*. 2017;32(5):363-75.
- » Godos J, Tieri M, Ghelfi F, Titta L, Marventano S, Lafranconi A, et al. Dairy foods and health: an umbrella review of observational studies. *Int J Food Sci Nutr*. 2020;71(2):138-51.
- » Pimpin L, Wu JH, Haskelberg H, Del Gobbo L, Mozaffarian D. Is Butter Back? A Systematic Review and Meta-Analysis of Butter Consumption and Risk of Cardiovascular Disease, Diabetes, and Total Mortality. *PLoS One*. 2016;11(6):e0158118.
- » Santaren ID, Watkins SM, Liese AD, Wagenknecht LE, Rewers MJ, Haffner SM, et al. Serum pentadecanoic acid (15:0), a short-term marker of dairy food intake, is inversely associated with incident type 2 diabetes and its underlying disorders. *Am J Clin Nutr*. 2014;100(6):1532-40.
- » Imamura F, Fretts A, Marklund M, Ardisson Korat AV, Yang WS, Lankinen M, et al. Fatty acid biomarkers of dairy fat consumption and incidence of type 2 diabetes: A pooled analysis of prospective cohort studies. *PLoS Med*. 2018;15(10):e1002670.
- » Mika A, Stepnowski P, Kaska L, Proczko M, Wisniewski P, Sledzinski M, et al. A comprehensive study of serum odd- and branched-chain fatty acids in patients with excess weight. *Obesity (Silver Spring)*. 2016;24(8):1669-76.
- » Su X, Magkos F, Zhou D, Eagon JC, Fabbrini E, Okunade AL, et al. Adipose tissue monomethyl branched-chain fatty acids and insulin sensitivity: Effects of obesity and weight loss. *Obesity (Silver Spring)*. 2015;23(2):329-34.
- » Harrison S, Brassard D, Lemieux S, Lamarche B. Consumption and Sources of Saturated Fatty Acids According to the 2019 Canada Food Guide: Data from the 2015 Canadian Community Health Survey. *Nutrients*. 2019;11(9).

REVUE DE LA LITTÉRATURE ET SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Chapter 3: Facteurs affectant la composition en matière grasse et la concentration en acide palmitique du lait chez la vache

Auteur : Rachel Gervais, agr., Ph.D.

Mise en contexte

La matière grasse est la composante du lait la plus variable, autant pour sa teneur dans le lait que sa composition en acides gras (AG). Les lignes qui suivent résument les principaux facteurs qui affectent la composition en AG du lait et mettent l'accent sur les variations de la teneur en acide palmitique (16:0)

Facteurs zootechniques

Génétique/Race

La composition du lait varie entre les races, mais encore davantage entre les individus d'une même race (Soyeurt et al., 2006). Plusieurs facteurs expliquent ces variations tel que la sécrétion des composantes principales de chacune des races, les variations quant à l'activité des désaturases et le polymorphisme génétique. Au-delà de la différence bien connue entre les concentrations en gras et en protéine du lait de vaches Jersey comparativement au lait de vaches Holstein, quelques travaux dans les années 90 ont montré que la vache Jersey produit un lait dont le ratio acide oléique : acide stéarique (18:1c9 : 18:0) est typiquement plus faible que la vache Holstein (Townsend et al., 1997). Toutefois, le lait des vaches Jersey a des teneurs plus élevées en AG à chaîne courte et moyenne ($\leq 14C$; Beaulieu et Palmquist, 1995; Bitman et al., 1996) et plus faibles en 18:1c9 (Beaulieu et Palmquist, 1995). En ce qui a trait à la concentration en 16:0, les différences entre ces races ne sont pas clairement établies et les résultats demeurent contradictoires. D'un côté, Beaulieu et Palmquist (1995) rapportent une concentration en 16:0 plus élevée dans le lait de vaches Holstein, alors que d'autres travaux n'ont observé aucune différence (DePeters et al., 1995) ou même des teneurs plus faibles (Stull et Brown, 1964) que celles observées dans le lait de vaches Jersey. Cela dit, à ce jour, les résultats disponibles montrent que l'effet de race n'explique que très partiellement la variabilité rencontrée dans la composition en AG du lait chez la vache.

Gibson (1991) estime que l'héritabilité qui peut être associée aux proportions molaires individuelles des AG du lait est modérée (approx. 0,3) avec des coefficients de variation se situant entre 0,05 et 0,2. La composition de la matière grasse pourrait donc répondre à la sélection génétique. Plus récemment, les coefficients d'héritabilité ont été établis à partir de plusieurs échantillons de lait provenant de différentes origines, autant géographiques, de races ou encore de populations animales (Soyeurt et al., 2007; Bobe et al., 2008; Stoop et al., 2008; Arnould et Soyeurt, 2009; Mele et al., 2009). Stoop et al. (2008) estiment que l'héritabilité des AG individuels est corrélée à leur origine, les teneurs en AG synthétisés de novo par le tissu mammaire étant plus héréditaires (6:0 à 14:0; $h^2 = 0.35 - 0.45$) que celles des AG préformés, soit les AG provenant de la ration de l'animal ou encore de la mobilisation de ses réserves corporelles (AG à chaîne longue ou polyinsaturée; 0.09 – 0.21). Comme les AG de novo, le 16:0 a une plus grande héritabilité (0.31) que celle des AG préformés (Stoop et al., 2008).

Stade de lactation

Au début de la lactation, les vaches laitières mobilisent les AG entreposés dans le tissu adipeux pour répondre aux besoins énergétiques associés à la mise en place de la lactation, ceux-ci dépassant largement la capacité d'ingestion des animaux. Les deux AG retrouvés en proportion importante dans le tissu adipeux du bovin sont le 18:1c9 ($\approx 40\%$) et le 16:0 ($\approx 30\%$; Christie, 1981). La glande mammaire prélèvera alors ces AG préformés pour les incorporer à la matière grasse laitière. Le prélèvement accentué de ces AG préformés à longue chaîne par le tissu

mammaire pendant cette période réduit la proportion d'AG synthétisés de novo dans le gras du lait, et ce pour deux raisons. D'abord par effet de dilution, mais également dû à l'effet inhibiteur des AG à longue chaîne sur les enzymes responsables de la synthèse d'AG de novo par le tissu mammaire (Chilliard et al., 2000).

Ainsi, les concentrations en AG à courte et moyenne chaîne sont relativement faibles au début de la lactation mais augmentent rapidement durant les deux semaines suivant la mise-bas. Ces concentrations continuent d'augmenter, mais à des taux plus faibles pour atteindre une concentration maximale 10 semaines après le début de la lactation. Les teneurs en AG préformés dans la matière grasse laitière suivent des courbes opposées avec une réduction progressive dans les 10 premières semaines de la lactation (Palmquist et al., 1993; Craninx et al., 2008; Bilal et al., 2014).

Plus précisément, Palmquist et al. (1993) ont établi que les concentrations en AG de novo augmentaient entre 117 et 200% dans les premières semaines de lactation, alors que durant la même période, les teneurs en AG préformés diminuaient de plus de 30%. Puisque le 16:0 retrouvé dans le lait est un produit de la lipogenèse par le tissu mammaire, mais peut également être mis en circulation lors de la mobilisation des réserves corporelles au début de la lactation, le stade de lactation n'avait pas un impact aussi marqué sur les teneurs en cet AG. En effet, comme pour les autres AG de novo, les teneurs en 16:0 dans la matière grasse laitière augmentaient dans les premières semaines de lactation. Par contre, comme les concentrations en 16:0 du gras laitier étaient déjà, dans les premiers jours de lactation, à 75% des concentrations observées à la semaine 16, le taux d'augmentation était plus faible que celui observé pour les autres AG de novo.

Ces résultats ont été confirmés ultérieurement dans une étude menée par Kay et al. (2005), qui ont monitoré l'évolution du profil en AG du lait au fil de la lactation chez des vaches laitières de potentiel génétique différent. Dans cette expérience, la teneur en 16:0 de la matière grasse laitière a augmenté de 10% dans les 16 premières semaines de lactation, alors que celles des autres AG de novo avaient augmenté entre 20 et 114%. Aussi, toujours en accord avec les résultats antérieurs, la teneur en 18:1c9 du lait avait diminué de 23% pour la même période.

De récentes données confirment que les vaches canadiennes, en début de lactation, produisent une matière grasse avec des concentrations élevées en AG préformés, notamment en 18:1. Ces concentrations diminuent au cours des 100 premiers jours de la lactation. À l'opposé, les concentrations en AG de novo et en 16:0 augmentent pendant la même période et concurremment à l'augmentation de la prise alimentaire (Figure 1).

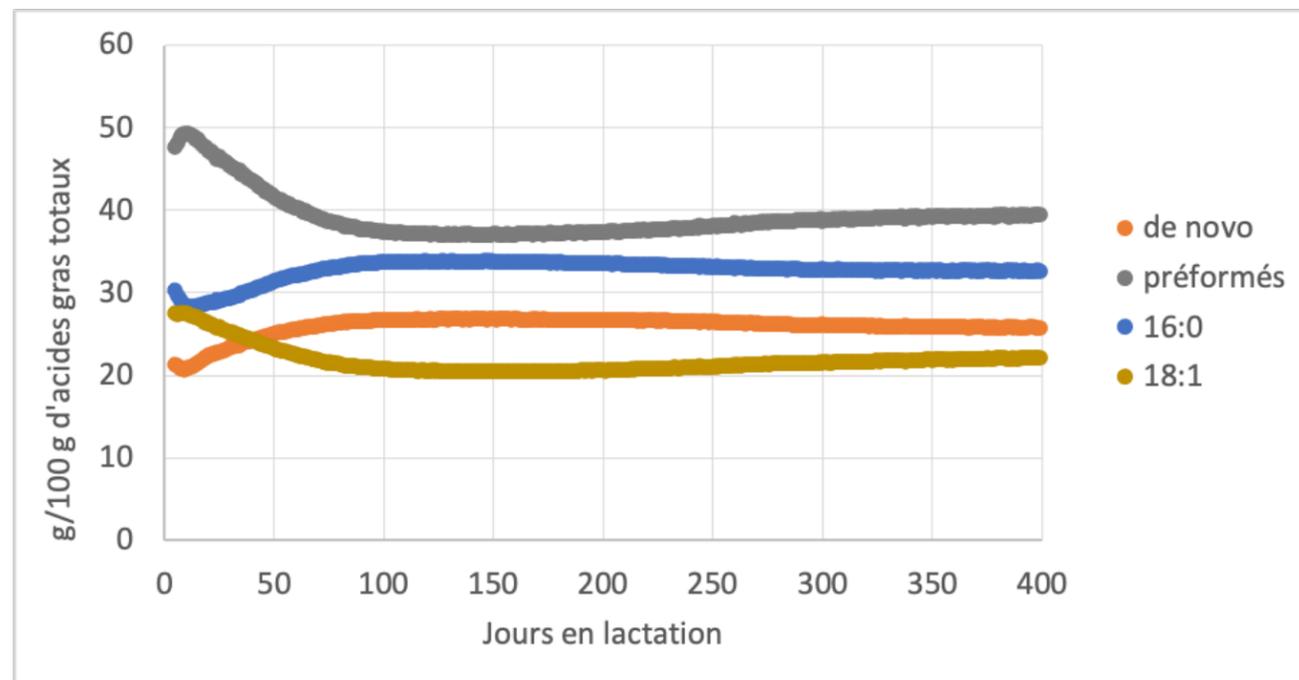


Figure 1. Évolution de la composition en acides gras de la matière grasse laitière au cours de la lactation. Données recueillies de 345 786 vaches réparties sur 3 175 troupeaux laitiers du Québec entre février 2020 et octobre 2021. Lactanet (données non publiées).

Parité

La parité (nombre de gestations complétées) influence aussi le profil en AG du lait (Kelsey et al., 2003). Bien que certaines études n'aient observé que peu d'effets de la parité sur la composition de la matière grasse laitière, d'autres travaux ont confirmé que le gras du lait des vaches primipares (celles ayant mises bas pour une première fois) contient des concentrations plus importantes d'AG insaturés et de plus faibles proportions d'AG saturés comparativement à celui des vaches multipares (Thomson et Poel, 2000; Craninx et al., 2008; Bilal et al., 2014).

En 2014, Bilal et al. (2014) ont étudié les effets de la parité sur les concentrations individuelles d'AG dans des échantillons de lait de vaches Holstein issues de troupeaux commerciaux canadiens. Les données obtenues montrent qu'au cours de leur première lactation, les vaches produisent un gras plus riche en AG préformés, notamment en 18:1c9, en acide vaccénique (18:1t11), en acide linoléique (18:2n-6) et en acide linoléique conjugué (ALC c9t11), alors que les vaches multipares produisent un lait dont les concentrations en AG de novo, et plus précisément en 12:0, 14:0 et 16:0 sont supérieures. Ces différences sont aussi observées dans les troupeaux laitiers québécois (Figure 2).

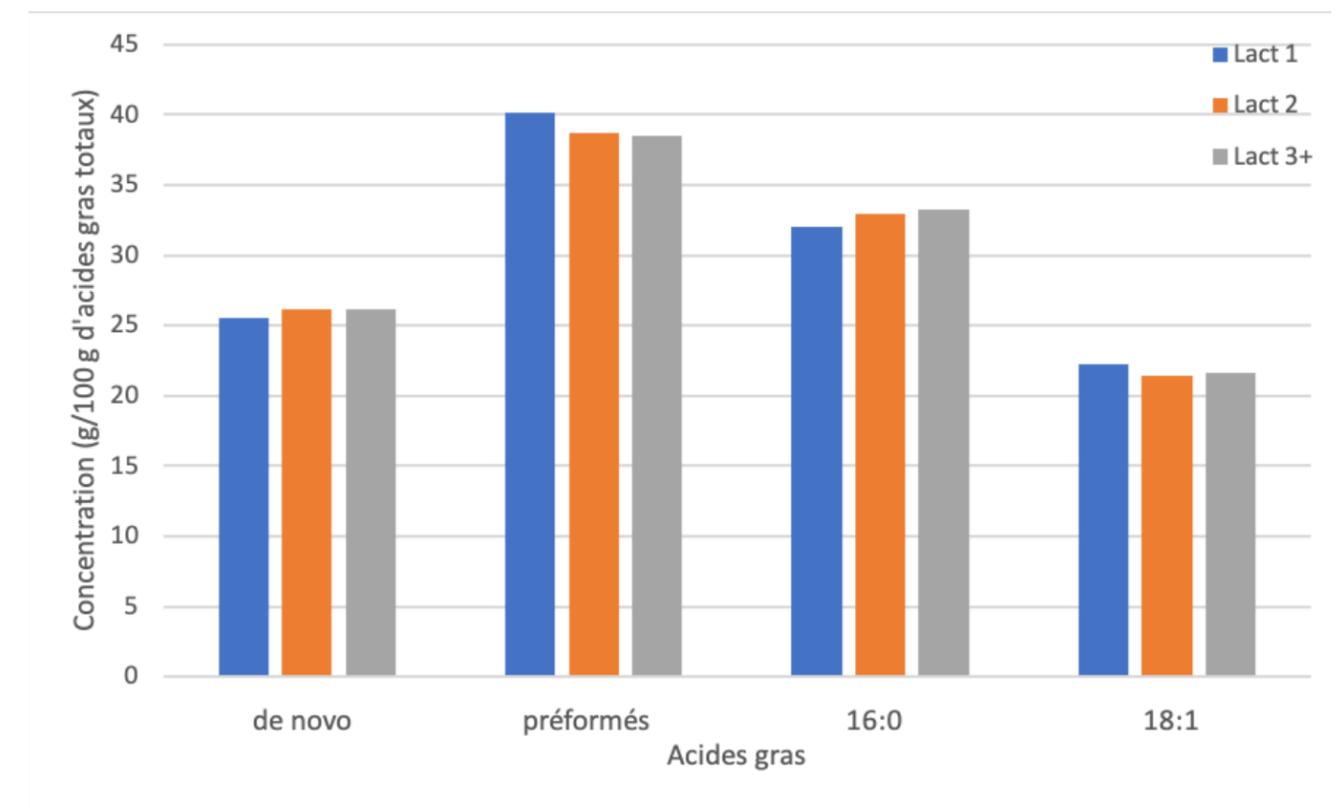


Figure 2. Concentration moyenne des acides gras du lait selon la parité. Données recueillies de 345 786 vaches réparties sur 3 175 troupeaux laitiers du Québec entre février 2020 et octobre 2021. Lactanet (données non publiées).

L'effet de la parité sur le profil en AG du lait peut s'expliquer, du moins en partie, par une capacité réduite du tissu mammaire pour la synthèse de novo des AG chez les vaches primipares. Miller et al. (2006) ont d'ailleurs observé que l'expression de la Fatty Acid Synthetase (FAS), une enzyme clé de la biosynthèse des AG dans le tissu mammaire, était plus faible chez les vaches primipares comparativement aux animaux de deuxième lactation ou plus.

Aussi, les recherches suggèrent que la parité influence les changements hormonaux associés au métabolisme dans la période entourant le vêlage et la répartition des nutriments au sein des différents tissus, ce qui à son tour influence la synthèse des composantes par le tissu mammaire (Wathes et al., 2007).

Enfin, en raison des différences qui existent quant à la capacité d'ingestion et les besoins nutritifs entre les vaches primipares et multipares, ces animaux reçoivent souvent des rations de composition différente. Comme il sera présenté dans les sections suivantes, la composition de la ration a une influence marquée sur la composition de la matière grasse laitière. Ainsi, les différences dans la composition du gras laitier entre les vaches primipares et multipares observées en conditions commerciales pourraient aussi s'expliquer par des différences de composition de la ration (Bilal et al., 2014).

Facteurs environnementaux

Saison

En 2008, O'Donnell-Megaró et al. ont étudié l'effet des saisons et des régions géographiques américaines sur la composition de la matière grasse laitière à partir de laits recueillis dans 56 laiteries situées à travers les États-Unis, à tous les trois mois pendant un an (O'Donnell-Megaró et al., 2011). Cette enquête a montré que la saison a un effet significatif sur les concentrations des différents AG qui composent le gras laitier. Les auteurs ont toutefois conclu que ces différences étaient somme toute mineures et que la composition de la matière grasse laitière était suffisamment similaire au fil des saisons pour ne pas avoir entraîné de variations importantes quant à la valeur nutritive du lait dans une perspective de santé publique.

Plusieurs autres études ont été menées dans différents pays afin d'établir la saisonnalité du profil en AG du lait de grand mélange ou encore du beurre (Larsen et al., 2010; Kliem et al., 2013; Capuano et al., 2015; Paredes et al., 2018). De ces études, on comprend que, relativement au lait produit en été, le gras du lait produit ou vendu pendant la période hivernale contient davantage d'AG saturés, essentiellement représentés par le 16:0 (+6 à +12%) et moins d'AG monoinsaturés de configuration cis, ceux-ci étant représentés davantage par le 18:1c9. Ces observations sont similaires à celles obtenues au Canada et qui sont présentées dans le prochain chapitre du document. Néanmoins, Kliem et al. (2013) ont eux aussi conclu que, lorsqu'appliquées aux valeurs de consommation des aliments en Angleterre, ces différences de composition de la matière grasse laitière n'avaient pas un impact significatif sur l'apport quotidien en AG de la population.

Mode d'élevage (biologique vs conventionnel)

Plusieurs études ont montré que, typiquement, le gras du lait produit sous régie biologique a une teneur plus élevée en acide linoléique (18:3n-3) que celui produit sous régie conventionnelle (Jahreis et al., 1997; Kraft et al., 2003; Ellis et al., 2006). Un autre AG pour lequel on rapporte des concentrations plus importantes dans le lait biologique est l'ALC c9t11, bien que cette différence soit moins systématique (Jahreis et al., 1997; Kraft et al., 2003; Ellis et al., 2006). La plus forte teneur en 18:3n-3 dans le lait biologique est fort probablement associée à l'utilisation extensive de fourrages de légumineuses sous régie biologique. Aussi, l'usage de fourrages frais et les apports limités de concentrés dans les rations sont d'autres facteurs qui expliquent les plus fortes teneurs en 18:3n-3 observées dans le lait biologique comparativement au lait produit sous régie conventionnelle. Il est toutefois important de mentionner que dans une expérience menée par Schwendel et al. (2006), les différences quant aux teneurs en 18:3n-3 entre le lait biologique et conventionnel se sont maintenues, et ce malgré que les animaux des deux groupes étaient alimentés au pâturage, en continu. À l'opposé, les concentrations en ALC c9t11 étaient plus élevées dans le gras du lait produit sous régie conventionnelle par rapport à celui produit sous régie biologique.

Facteurs alimentaires

L'alimentation est le facteur environnemental ayant l'impact le plus important sur la composition du gras chez la vache laitière. En 1993, Palmquist et al. ont publié une revue exhaustive des principaux éléments de la ration de la vache qui ont une influence marquée sur la composition en AG du lait. Les sections qui suivent traitent brièvement de ces éléments, avec une attention particulière aux impacts sur la teneur en 16:0 de la matière grasse laitière.

Ratio fourrages : concentrés

Incorporer de l'amidon issu des céréales ou du maïs dans la ration de la vache laitière permet d'en augmenter la densité énergétique et ainsi offrir l'énergie nécessaire pour supporter la production laitière. Cependant, lorsqu'incorporé en forte proportion (> 50% de la matière sèche ingérée), l'amidon de la ration aura un effet inhibiteur sur la synthèse du gras laitier et entraînera des changements quant à la composition de cette matière grasse (Lock et Shingfield, 2004).

Lorsque celle-ci demeure limitée en proportion de l'ingestion totale, une augmentation des concentrés riches en amidon diminuera l'efficacité de la biohydrogénation ruminale, ce qui se traduira par une augmentation des teneurs en isomères de 18:1 de la matière grasse laitière, mais favorisera également les concentrations en 18:2n-6 et en AG de novo, aux dépens des teneurs en 18:3n-3 et en ALC c9t11 (Bargo et al., 2006). Toutefois, lorsque les proportions de ces concentrés augmentent au-delà de 50 à 60% de la matière sèche totale, les sentiers alternatifs de biohydrogénation ruminale sont favorisés, entraînant une inhibition marquée de la synthèse de la matière grasse laitière (Bauman et Griinari, 2001; Looor et al., 2005). Habituellement, ces changements sont accompagnés d'une diminution des proportions d'AG de novo et des AG saturés, incluant le 16:0, et d'une augmentation des concentrations des différents isomères de 18:1 ainsi que du 18:2n-6 (Palmquist et al., 1993).

Il est toutefois important de souligner que l'influence qu'aura la proportion d'amidon dans la ration sur la composition de la matière grasse laitière est grandement tributaire des fourrages qui accompagnent ces suppléments énergétiques ainsi que de la composition en AG de la ration totale (Looor et al., 2005; Bargo et al., 2006; Sterk et al., 2011; Saliba et al., 2014).

Dégradabilité de l'amidon

Au-delà de la teneur en amidon de la ration, la source d'amidon elle-même peut modifier la composition de la matière grasse laitière. En effet, la dégradabilité de l'amidon aura des répercussions sur la biohydrogénation ruminale, ce qui influencera à son tour le profil en AG du lait. Jurjanz et al. (2004) ont offert à deux groupes de vaches en lactation des rations totales mélangées contenant un amidon soit lentement (patate) ou rapidement (blé) dégradable. Les vaches recevant l'amidon rapidement dégradable produisaient un lait dont la teneur en gras était plus faible, mais contenant des concentrations plus élevées en 18:1, et réduites en AG de novo, incluant le 16:0.

Mohammed et al. (2010) ont quant à eux déterminé que la fermentescibilité plus élevée de l'amidon d'orge par rapport à celui du maïs avait pour effet d'augmenter les teneurs en gras du lait ainsi que les concentrations en AG de novo, sauf pour le 14:0 et le 16:0 dont les teneurs dans la matière grasse n'étaient pas affectées par la dégradabilité de l'amidon. Dans cette même expérience, la concentration en 18:0 du gras laitier était augmentée lorsque les vaches recevaient le maïs comme source d'amidon.

Pâturage

L'herbe fraîche contient en moyenne 1 à 3% d'AG sur une base de matière sèche, avec des valeurs plus élevées au printemps et à l'automne. Le 18:3n-3 représente entre 50 et 75% des AG contenus dans ce fourrage (Bauchart et al., 1984; Boufaïed et al., 2003; Elgersma et al., 2006). De façon générale, la matière grasse laitière des vaches au pâturage contient des teneurs élevées en 18:0, 18:1, 18:3n-3 et en ALC c9t11, alors que les teneurs en 10:0, 12:0, 14:0 et 16:0 sont plus faibles comparativement à celles de vaches nourries à l'ensilage ou au foin (Chilliard et al., 2007; Villeneuve et al., 2013).

Ces différences s'amplifient plus la proportion d'herbe pâturée dans la ration augmente (Couvreur et al., 2006). Par ailleurs, les fortes concentrations en 18:0, 18:1, 18:3n-3 et ALC de la matière grasse laitière vont diminuer à mesure que l'herbe du pâturage gagne en maturité, et ce en raison des concentrations en 18:3n-3 et en AG totaux plus faibles de l'herbe mature par rapport à l'herbe plus jeune (Dewhurst et al., 2006; Ferlay et al., 2006).

Conservation des fourrages

Foin et ensilage d'herbe

L'assèchement du foin au champ est reconnu pour réduire la teneur en 18:3n-3 et en AG totaux du fourrage dû aux pertes oxydatives, mais aussi à la perte de feuilles lors de la récolte. C'est ce qui explique que le foin de graminées a de plus fortes teneurs en 18:3n-3 et en AG totaux que lorsque ces espèces sont récoltées sous forme d'ensilage (Shingfield et al., 2015). Cependant, Villeneuve et al. (2013) ont rapporté que, bien que la concentration en 18:3n-3 était deux fois plus élevée dans la fléole récoltée sous forme d'ensilage plutôt que de foin, la matière grasse produite par les vaches qui recevaient cet ensilage, plutôt que le foin, contenait moins de 18:3n-3. Ces résultats s'expliquent par le fait que les AG polyinsaturés contenus dans le foin étaient mieux protégés de la biohydrogénation ruminale que ceux contenus dans l'ensilage (Boufaïed et al., 2003).

Ensilage de légumineuses

Comparativement à d'autres espèces fourragères, l'ensilage de légumineuses augmente les concentrations en 18:2n-6 et 18:3n-3 de la matière grasse laitière vu l'importante concentration en AG polyinsaturés de la portion lipidique de ces fourrages. Aussi, il a été montré que i) l'efficacité de transfert du 18:3n-3 de la ration au lait est plus grande lorsque cet AG provient d'un ensilage de trèfle rouge comparativement à un ensilage de graminées (9 vs 4,5%); ii) le taux de passage dans le rumen est plus élevé pour le trèfle blanc; et iii) que le taux de lipolyse des lipides du trèfle rouge, étape préalable à la biohydrogénation ruminale, est plus élevé en raison de son contenu en polyphénol oxydase (Dewhurst et al., 2006).

Ensilage de maïs

En raison de la proportion importante de grains (30-40%) qu'on retrouve dans l'ensilage de maïs, ce fourrage est particulièrement riche en 18:2n-6 et 18:1c9, alors que sa teneur en 18:3n-3 est relativement faible. Plusieurs expériences ont montré que d'offrir aux vaches une ration à base d'ensilage de maïs, comparativement aux autres plantes fourragères, a pour effet d'augmenter le ratio AG n-6 : AG n-3 de la matière grasse laitière, mais cela a tout de même un effet limité sur ses teneurs en 18:1c9 et en 18:0 (Chilliard et al., 2001). Les autres effets d'une alimentation à base d'ensilage de maïs sur la composition en AG du lait sont pour la plupart reliés aux intermédiaires de la biohydrogénation du 18:2n-6 et du 18:3n-3 et la proportion relative de ces deux AG dans la fraction lipidique de la ration (Chilliard et al., 2001).

Quantité et composition en AG des suppléments lipidiques

Les effets des lipides alimentaires sur la composition de la matière grasse laitière ont longuement été étudiés et continuent de l'être. On connaît depuis plusieurs années l'effet inhibiteur des suppléments lipidiques sur plusieurs enzymes clés de la synthèse de novo des AG dans le tissu mammaire de la vache (Grummer, 1991). Ainsi, de façon générale, lorsque des suppléments lipidiques sont incorporés à la ration de la vache, on observe une réduction des concentrations en AG de novo dans la matière grasse laitière qui augmente avec la longueur de chaîne de l'AG, et ce jusqu'au 12:0.

On sait aussi que les effets associés à l'ajout de lipides à la ration de la vache seront directement influencés par i) le taux d'incorporation du supplément lipidique dans la ration; ii) la composition en AG du supplément en question; iii) la forme sous laquelle les lipides sont ajoutés (mode de fabrication, forme de protection, caractère inerte, etc.); et iv) la composition de la ration de base (Kliem et Shingfield, 2007).

Huiles végétales et graines oléagineuses

Augmenter la proportion d'huile végétale ou de graines oléagineuses dans l'alimentation de la vache aura généralement pour effet de diminuer les concentrations d'AG saturés et d'augmenter celles des insaturés dans la matière grasse laitière (tableau 1; adapté de Kliem et Shingfield, 2016). Plus précisément, ce sont les teneurs en AG de novo, y compris en 16:0, qui diminuent suite à l'ajout d'huile végétale dans la ration des vaches, alors que la concentration de 18:0 augmentera. L'ajout d'huile végétale ou de graines oléagineuses dans la ration augmentera également les concentrations en 18:1c9 dans le gras du lait. D'abord, une partie de cet AG retrouvé dans l'alimentation de la vache échappera à la biohydrogénation ruminale, mais aussi, on observera une augmentation du prélèvement de 18:0, dans l'intestin. Cet AG servant de substrat préférentiel pour l'enzyme delta-9 désaturase dans le tissu mammaire de la vache, cela conduira donc à la synthèse endogène de 18:1c9 (Kliem et Shingfield, 2016).

Tel que rapporté par Kliem et Shingfield (2016), bien que les huiles végétales et les graines oléagineuses qui sont utilisées en alimentation de la vache laitière contiennent des teneurs élevées en AG polyinsaturés, majoritairement 18:2n-6 et du 18:3n-3, le transfert de ces AG essentiels de la ration à la matière grasse laitière est très limitée, vue l'importante biohydrogénation ayant cours dans le rumen de l'animal. Aussi, en raison du caractère essentiel de ces AG, lorsqu'ils sont absorbés dans l'intestin, ceux-ci sont largement utilisés par les autres tissus de l'organisme. Ainsi, même lorsque les AG polyinsaturés se trouvent en grande concentration dans l'alimentation, ou encore sont offerts sur une longue période, la concentration en 18:2n-6 dans la matière grasse laitière se limite à 4%, alors que celle du 18:3n-3 se limite à 1,2% (Shingfield et al., 2013).

Toujours en raison de l'importante biohydrogénation ruminale des AG polyinsaturés, lorsque de l'huile végétale ou encore des graines oléagineuses sont ajoutées à la ration de la vache, la concentration des AG intermédiaires de la biohydrogénation qui sont incorporés à la matière grasse laitière augmente, notamment celle du 18:1t11 (Roy et al., 2006). Ce dernier pourra alors servir de substrat pour la synthèse endogène de l'ALC c9t11 par la delta-9 désaturase dans le tissu mammaire. L'augmentation des teneurs en isomères de 18:1 dans le lait à la suite de l'ajout d'AG polyinsaturés dans la ration de la vache est grandement tributaire de la quantité et de la source des lipides qui sont offerts à l'animal, mais aussi de la composition de la ration de base (tableau 1). Les sentiers de biohydrogénation dits alternatifs (sentier du t10) peuvent être favorisés lorsque la source de lipides ajoutés est particulièrement riche en 18:2n-6 et que la ration de base contient une forte proportion d'amidon (Shingfield et al., 2005).

L'ajout de lipides alimentaires aura un impact plus grand chez les animaux en début de lactation, et ce malgré le fait que ces animaux traversent une période de déficit énergétique qui entraîne la mobilisation des AG contenus dans leurs réserves corporelles (Grummer, 1991; Chilliard et al., 2000).

Tel que mentionné précédemment, l'ajout de lipides alimentaires aura pour effet de diminuer les teneurs en 12:0, 14:0 et 16:0 dans la matière grasse laitière, et d'augmenter celle du 18:0. Ces effets sont plutôt stables dans le temps. Or, les effets sur les intermédiaires de la biohydrogénation que l'on retrouve dans le lait, notamment les augmentations en ALC c9t11 sont transitoires en raison des sentiers de biohydrogénation ruminale qui évoluent (Bauman et al., 2000; Dhiman et al., 2000).

Suppléments d'acides gras saturés ou dérivés d'huile de palme

L'ajout de suppléments lipidiques inertes au rumen est une pratique courante en nutrition de la vache laitière qui permet d'augmenter la densité énergétique, l'efficacité alimentaire, de même que la production de lait et de ses composantes (Rabiee et al., 2012; voir le chapitre 5 pour plus de détails). À cet égard, les sels de calcium préparés à partir des distillats d'huile de palme sont utilisés depuis de nombreuses années afin de minimiser les effets négatifs des AG insaturés sur la fermentation ruminale (Palmquist, 1991).

Une méta-analyse récemment publiée et regroupant les résultats de 33 publications scientifiques rapporte les effets des sels de calcium de distillat d'huile de palme sur la digestibilité des nutriments et les performances des vaches laitières (dos Santos et al., 2021). La méta-régression élaborée dans cette analyse a permis d'établir que par unité de pourcentage de la matière sèche ingérée, l'ajout de sels de calcium de distillat d'huile de palme dans la ration diminue la teneur en AG de novo du lait de 2,05 g/100 g d'AG. Ce même apport augmentera la proportion de C16 (16:0 + 16:1) de 0,51 et d'AG préformés de 1,85 g/100 g d'AG.

Depuis quelques années, un intérêt marqué est dirigé vers les suppléments d'AG saturés dans l'alimentation de la vache laitière en raison du caractère inerte dans le rumen de ces lipides alimentaires, leur impact limité sur la consommation volontaire des animaux par rapport aux autres suppléments lipidiques disponibles (Allen, 2000) et leur capacité à augmenter la production de lait et de ses composantes (Hu et al., 2017). La plupart des suppléments d'AG saturés commercialisés contiennent des proportions variées de deux AG principaux, soit le 16:0 et le 18:0. Les proportions relatives de ces deux AG au sein d'un supplément influenceront significativement leurs impacts sur la consommation, la digestibilité des nutriments et les performances de production des animaux, mais également sur la composition en AG du lait produit. Il est toutefois très difficile d'estimer l'efficacité de transfert des AG de ces suppléments de la ration au lait. D'abord, tel que mentionné précédemment, le 16:0 retrouvé dans le lait est non seulement dérivé de l'alimentation de la vache, mais est également synthétisé par le tissu mammaire. Aussi, l'activité de l'enzyme delta-9 désaturase transforme le 18:0 prélevé par la glande mammaire en 18:1c9. À cela s'ajoute le caractère sélectif du tissu mammaire quant à son incorporation des différents AG disponibles au sein des triacylglycérols qui constitueront la matière grasse laitière. En effet, les enzymes responsables de la synthèse du gras laitier maintiennent un équilibre entre les AG saturés et insaturés qui composent la matière grasse laitière afin d'en assurer une fluidité fonctionnelle qui permet leur sécrétion au sein du tissu mammaire (Loften et al., 2014).

Les suppléments d'AG saturés disponibles commercialement se divisent en cinq groupes selon leur composition en AG saturés :

- i) mélange 16:0 + 18:0
- ii) 16:0 (85% pur)
- iii) 18:0 (85% pur)
- iv) 16:0 (99% pur)
- v) 18:0 (99% pur).

Aussi, certains de ces suppléments contiennent différentes concentrations de 18:1c9, ce qui peut affecter leur digestibilité et ainsi leur impact sur la production et la composition du lait de l'animal qui les consomme.

Seules quelques études ont évalué les effets d'un ajout de supplément enrichi en 18:0 (> 85%) dans la ration de la vache laitière. Récemment, Shepardson et Harvatine (2021) ont observé une augmentation de 20% en 18:0 et 10% en 18:1c9 de la matière grasse laitière de vaches laitières recevant ce type de supplément à raison de 2% de la matière sèche ingérée. Bien qu'ils soient de plus faible amplitude, ces changements concordent avec ceux rapportés par Noble et al. (1969), où des augmentations respectives de 165% et 64% avaient été observées pour les concentrations en 18:0 et 18:1c9 et une diminution de 23% pour le 16:0 dans la matière grasse laitière de vache recevant ce supplément à 5% de la matière sèche ingérée.

Rico et al. (2014) ont comparé la matière grasse laitière de vaches en début de lactation recevant des suppléments purifiés (> 97%) de 16:0 (642 g/j) ou de 18:0 (646 g/j). Les animaux recevant le supplément de 16:0 produisaient une matière grasse laitière dont les teneurs en AG de novo, de 4:0 à 14:0, étaient réduites comparées à celle des vaches recevant le supplément de 18:0. Par contre, les concentrations en 16:0 étaient significativement plus grandes pour les vaches recevant le supplément enrichi en cet AG. Des études antérieures avaient conduit aux mêmes conclusions (Noble et al., 1969; Steele et Moore, 1968), indiquant que les suppléments enrichis en 16:0 ont un effet inhibiteur plus important sur la synthèse d'AG de novo du tissu mammaire que ceux enrichis en 18:0.

L'intérêt croissant observé ces dernières années pour l'utilisation de suppléments enrichis en 16:0 (> 85%) dans l'alimentation de la vache laitière est dû aux effets plus constants de ces suppléments sur la teneur en gras du lait (Loften et al., 2014). Tel que rapporté dans le tableau 2, l'ajout de supplément enrichi en 16:0 dans la ration augmente la concentration en 16:0 de la matière grasse laitière de 5,5 à 12,3%, pour une moyenne d'environ 8,1% pour chaque unité de pourcentage d'augmentation du supplément en proportion de la matière sèche de la ration.

Tableau 1. Effets de l'ajout d'huiles végétales ou de graines oléagineuses sur la composition de la matière grasse laitière chez la vache. Adapté de Kliem et Shingfield (2016)

Source des lipides	Apport ^a (g/j)	Fourrage ^b	F:C	Composition en acides gras (g/100 g d'acides gras)											Référence		
				4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1c9	18:1t	18:2n-6		18:3n-3	
Témoin	0			2,95	2,02	1,18	2,68	3,06	9,79	30,7	9,12	21,2	2,26	3,59	0,46	0,5	
Dérivés d'huile de palme	476	FL/EL (55:45)	44:56	3,09	1,88	0,99	2,12	2,42	8,63	39,1	6,83	19,3	1,79	3,17	0,4	0,41	Mosley et al., 2007
Dérivés d'huile de palme	887			3,09	1,77	0,89	1,85	2,11	7,96	44	5,79	17,9	1,54	2,99	0,34	0,36	
Dérivés d'huile de palme	1248			3,03	1,72	0,85	1,78	2,04	7,89	45,6	4,95	17,4	1,44	3,11	0,3	0,36	
Témoin	0	EM/EL/FL (66/19/16)	39:61	2,95	2,11	1,31	3,43	4,11	12,4	33	8,77	17,1	1,97	NR	NR		Plantoni et al., 2013
Granules d'acide palmitique	556			2,94	2,02	1,21	3,1	3,68	11,3	37,6	7,77	16,4	1,81	NR	NR		
Témoin	0	EM/EL/FL/FG (66/19/8/8)	49:51	2,96	1,95	1,14	2,97	3,51	11,7	35,2	8,67	19	1,65	2,11	0,3	0,27	Lock et al., 2013
Acides gras d'huile de palme	NR			2,93	1,8	0,99	2,43	2,81	10,4	41,8	7,41	18	1,39	1,89	0,26	0,23	
Témoin	0	FL/EL/EO (26:48/26)	53:47	3,29	2,13	1,3	3,25	4,08	12,3	32,6	9,22	14,8	2,83	2,26	0,23	0,4	Hristov et al., 2009
Huile de coco	530			3,14	1,9	1,15	2,93	8,54	14,7	30,8	6,94	12,4	3,79	1,87	0,25	0,28	
Sels de Ca d'huile de palme	950			3,3	2,3	1,3	2,7	2,9	10	34,5	9,8	18,6	4,1	2,25	0,57	0,25	
Graines de colza entières	1186	EM/EG (75:25)	50:50	3,3	2,5	1,5	3,3	3,6	11,7	31,1	10,8	17	3,2	1,76	0,44	0,23	Givens et al., 2009
Graines de colza moulées	1147			3,1	2,2	1,2	2,4	2,6	9,6	21,6	15,5	23	6,4	1,73	0,86	0,27	
Huile de colza	1044			2,7	1,8	0,9	1,9	2,2	8,7	19,8	14,6	24,3	10	1,78	1,31	0,22	
Sels de Ca d'huile de palme	826			3,5	2,4	1,2	2,4	2,5	9,2	33,7	9,1	21,1	3,3	2,56	0,6	0,23	
Graines de colza moulées	847			3,2	2,4	1,3	2,6	2,9	10,3	24,3	13,3	22,7	4,8	1,97	0,58	0,29	
Graines de colza moulées	1127			3	2,3	1,2	2,5	2,7	9,9	21,2	15,2	24,8	5,2	1,87	0,66	0,29	
Graines de colza moulées	1345	EM/EG (75:25)	50:50	3,2	2,2	1,1	2,1	2,3	8,8	20,2	16,1	26,9	5,7	1,82	0,71	0,28	Kliem et al., 2011
Graines de colza riche en acide oléique moulées	865			3,3	2,4	1,2	2,4	2,6	9,7	21,9	14,8	25,1	4,9	1,85	0,57	0,22	
Graines de colza riche en acide oléique moulées	1113			2,8	2,3	1,2	2,4	2,6	9,2	20	17	26,1	5,1	1,67	0,64	0,19	
Graines de colza riche en acide oléique moulées	1345			2,9	1,9	0,9	1,9	2,1	8,3	19,2	16,7	28,9	5,9	1,61	0,61	0,17	
Témoin	0			2,76	1,64	0,99	2,39	2,93	10,5	24,9	11,2	20,7	6,64	2,79	0,67	0,36	
Tourteau de pression de colza	609			2,58	1,46	0,84	1,93	2,38	9,26	23,4	12,5	22,7	8,17	2,58	0,68	0,36	
Tourteau de pression de colza riche en acide oléique	515	EM/FL/FG (78:14:8)	57:43	2,71	1,5	0,86	1,94	2,4	9,13	22,9	11,9	23,5	8,34	2,45	0,91	0,3	Hristov et al., 2011
Tourteau de pression de colza riche en acide erucique	648			2,56	1,47	0,86	1,94	2,39	8,96	21	11,6	23,1	6,43	2,52	0,49	0,36	
Témoin	0	EM/Demi-sec (60:40)	53:47	NR	1,82	1,21	2,99	3,9	13,2	35	10,4	17,3	2,9	2,02	1,92	0,38	
Huile de soya	352			NR	1,62	1,06	2,5	3,24	12,3	33,3	11,1	18,8	4,32	2,4	2,24	0,42	Alzahhal et al., 2008
Huile de soya	732			NR	1,24	0,78	1,82	2,5	10,9	30,9	11,5	21,6	6,41	2,57	2,35	0,4	
Témoin	0	EM/EL/PB (62:32/6)	56:44	2,89	2,13	1,35	3,68	4,55	13,2	34,3	7,29	0,47	1,69	2,23	0,35	0,37	Boerman et Lock, 2014
Huile de soya	534			2,99	2,02	1,22	3,02	3,54	11,5	26,6	10,2	0,52	4,52	2,99	0,83	0,45	
Témoin	0	EM/FG	48:52	3,35	2,67	1,51	3,46	3,94	12,1	32,3	8,63	16,6	2,8	2,19	0,55	0,21	
Huile de tournesol	957			2,31	1,21	0,54	1,2	1,65	7,06	18,9	13,6	28,3	11,5	2,34	0,93	0,2	Roy et al., 2006
Témoin	0	EM	27:73	3,28	2,7	1,62	4,26	5,14	12,8	28,7	5,77	14,9	5,19	2,96	0,6	0,09	
Huile de tournesol	755			1,84	1,03	0,48	1,16	1,81	7,36	19,1	6,27	19,4	23,7	4,59	1,17	0,15	
Témoin	0			4,12	2,37	1,19	2,53	2,87	11,6	30,6	9,76	17,7	4,58	1,75	0,68	0,41	
Huile de carthame	1125	EO/EL/FL	60:40	2,77	1,39	0,63	1,26	1,53	8,1	18,7	11,4	17,7	17,6	2,89	4,12	0,32	Bell et al., 2006 ^c
Huile de lin	1066			3,23	1,56	0,7	1,38	1,64	8,48	17,9	11,1	19,2	14,3	2,01	2,8	0,73	

Source des lipides	Apport ^a (g/j)	Fourrage ^b	F:C ^c	Composition en acides gras (g/100 g d'acides gras)											Référence		
				4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1c9	18:1t	18:2n-6		18:3n-3	
Témoin	0			1,87	1,4	0,97	2,33	2,83	10,2	24,1	14,3	22,1	4,95	1,12	1,19	0,6	Rego et al., 2009
Huile de colza	500	Pâturage	(5)	1,58	0,99	0,59	1,29	1,63	6,9	18	17,3	30,6	7,51	0,98	1,14	0,38	
Huile de tournesol	500			1,38	0,87	0,53	1,15	1,52	6,61	18,2	16,8	29,6	8,78	1,25	1,61	0,42	
Huile de lin	500			1,67	1,06	0,65	1,41	1,75	7,09	17	16,8	26,5	9,67	0,99	1,54	0,53	
Témoin	0		100	2,72	2,13	1,42	3,16	3,91	11,4	29,4	9,1	19,1	3,18	1,49	0,64	0,55	Jacobs et al., 2011
Huile de colza	408	EM/EG (8:1:19)		2,52	1,8	1,14	2,49	3,17	10,5	27,6	8,75	21,3	6,08	1,49	0,93	0,35	
Huile de soja	389		64:36	2,57	1,86	1,12	2,36	2,84	10,2	26,6	10,91	21,2	6,27	1,9	1,09	0,45	
Huile de lin	392			2,48	1,93	1,22	2,65	3,27	10,5	23,8	9,71	21,3	6,69	1,47	1,07	0,66	
Sels de Ca d'huile de palme	NR			0,64	1	0,77	1,57	2,07	8,59	36,2	8,76	22,6f	3,49	2,15	0,53	0,19	Mohammed et al., 2011
Graines de tournesol pressées	600	EO	45:55	0,48	1,05	0,83	1,69	2,19	8,65	22,3	14,32	28,0f	5,2	2,82	0,99	0,18	
Graines de lin pressées	594			0,58	1,15	0,91	1,91	2,43	8,88	22,6	13,54	26,6f	4,36	2,42	0,7	1,01	
Graines de canola pressées	640			0,48	1,2	0,93	2,05	2,59	9,75	22,8	13,94	28,0f	3,62	2,14	0,63	0,3	
Témoin	0			3,35	1,76	1,23	3,19	3,91	13	32,4	7,63	13,2	4,02	2,08	0,44	1,1	Hallemies-Beauchet-Pilleau et al., 2011
Huile de colza	310			3,54	1,72	1,14	2,75	3,24	11,8	27,3	10,4	17,3	5,2	1,99	0,56	1,02	
Huile de tournesol	280	ETR	55:45	3,58	1,71	1,14	2,76	3,24	11,7	26,5	10,9	16,6	5,55	2,55	0,64	0,99	
Huile de caméline	300			3,57	1,69	1,14	2,72	3,2	11,6	27,1	9,86	16,5	4,91	2,1	0,57	1,17	
Tourteau de pression de caméline	210			3,67	1,69	1,09	2,57	3,08	11,9	26,8	7,33	13,5	8,28	1,98	1,02	1,06	
Témoin	0			2,44	1,95	1,34	3,33	4,13	13	37	6,61	16,4	2,95	1,86	0,82	0,2	Hurtaud et Peyraud, 2007
Graines de caméline	630	EM	58:42	2,38	1,84	1,27	3,16	4,04	13	32,2	6,09	17,3	6,93	2,2	0,93	0,32	
Tourteau de pression de caméline	630			1,4	0,99	0,61	1,59	2,61	11,8	31,9	3,4	14,1	16,35	1,89	1,48	0,36	
Huile de caméline	930	EG	60:40	3,1	1,9	1,12	2,66	3,24	12,1	34,4	8,78	16,4	2,23	1,33	0,29	0,45	
Témoin	0	FG	64:36	3,18	1,56	0,79	1,55	1,84	8,1	21,3	12,9	23,5	6,71	1,09	0,73	0,49	
Huile de lin	1050			2,96	2,31	1,43	3,54	4,22	13,1	34,9	6,99	14,2	2,11	1,58	0,54	0,74	
Témoin	0			2,82	1,76	0,84	1,77	1,96	8,29	17,1	12,8	20,6	12,2	1,16	2,89	0,74	
Graines de lin entières	559	EM/FL (88:12)	69:31	2,69	2,16	1,33	2,74	3,95	11,4	33,6	9,4	18,7	3,18	1,92	0,59	0,27	
Lin extrudé	497			2,69	2,01	1,23	2,37	3,15	9,15	24,4	14,2	21,8	6,61	1,7	0,84	0,95	
Huile de lin	721	Pâturage		2,57	1,82	1,06	2,06	2,54	9,95	23,3	14,4	22	8,91	1,62	1,12	1,2	
Témoin	0			1,72	1,59	0,94	1,69	1,87	7,91	23,3	12,1	25,4	6,19	1,93	1,25	0,59	
Huile de lin	170			1,72	1,53	0,92	1,64	1,75	7,48	22,7	12,4	25,7	6,76	1,96	1,36	0,78	
Huile de lin	340			1,57	1,42	0,83	1,51	1,69	7,38	21,2	12,3	25,1	8,17	1,97	1,6	1,01	
Huile de lin	510			1,4	1,22	0,71	1,31	1,51	6,71	19,8	12,2	25,8	9,43	1,95	1,88	1,03	
Témoin	0			3,13	2,24	1,41	3,37	4,22	12,6	29,1	8,32	17,4	3,49	1,69	0,77	0,67	
Graines de lin entières	559	EM/FG (90:10)	65:35	3,11	2,14	1,24	2,74	3,22	10,8	25	13,7	23,5	2,13	1,28	0,44	0,65	
Lin extrudé	497			2,78	1,64	0,89	1,89	2,36	8,83	19,6	11,7	22,4	9,95	1,61	1,27	1,2	
Huile de lin	721			2,05	1,06	0,54	1,09	1,52	5,88	15,9	11,3	26,3	10,6	1,53	0,65	0,54	
Témoin	0	EM/FG (88:12)	69:31	2,57	2,25	1,5	3,77	4,5	13,9	38,1	6,92	13,3	2,26	1,35	0,38	0,22	
Lin extrudé	670			2,58	1,96	1,2	2,69	2,95	9,66	20	14,1	21	9,61	1,22	1,51	1,05	

» ALC, acide linoléique conjugué; NR, non rapporté.

» a) Apport d'huile provenant du supplément. b) EG, ensilage de luzerne; EM, ensilage de maïs; EO, ensilage d'orge; ETR, ensilage de trèfle rouge; FG, foin de graminées; FL, foin de luzerne; PB, paille de blé. c) Ratio fourrages : concentrés de la ration (sur une base de matière sèche). Pour les études où les vaches étaient nourries au pâturage, l'apport en concentrés (kg/j) est rapporté entre parenthèses. d) Somme des ALC t7c9, ALC t8c10 et ALC c9t11. e) Les concentrations sont rapportées en g/100 g de méthyl esters d'acides gras. f) Co-élution avec le 18:1c10 et le 18:1t15. g) Les vaches consommaient 7 kg/j de concentrés (sur une base humide).



Tableau 2. Concentration en 16:0 de la matière grasse laitière (g/100 g d'acides gras totaux) de vaches témoins (TÉM) ou recevant un supplément enrichi en 16:0 (PALM).

RÉFÉRENCE	TRAITEMENT	CVMS (KG/J)	APPORT EN SUPPLÉMENT DE 16:0		CONCENTRATION EN 16:0 DE LA MATIÈRE GRASSE LAITIÈRE (G/100 G D'ACIDES GRAS)	% D'AUGMENTATION ^a
			% DE LA MATIÈRE SÈCHE	G/J		
de Souza et al., 2017	CON	26,6	0	0	35,1	+8,2%
	PALM	26	1,7	442	40,8	
de Souza and Lock, 2018a	CON	28,4	0	0	33,7	+12,3%
	PALM	30,3	1,2	368	39,6	
de Souza and Lock, 2018b	CON	29,5	0	0	32,7	+7,7%
	PALM	29,6	1,2	342	35,9	
de Souza and Lock, 2019	CON	29,2	0	0	30,1	+8,9%
	PALM-FA	29,1	1,9	560	36,3	
Piantoni et al., 2013	CON	27,8	0	0	33,0	+6,2%
	PALM	27,8	2,0	550	37,6	
Moyenne						+8,1%

» CVMS, consommation volontaire de matière sèche.

» ^a Pourcentage d'augmentation de la concentration en 16:0 dans la matière grasse laitière pour chaque unité de pourcentage d'augmentation du supplément de 16:0 dans la matière sèche de la ration

Ionophores

L'ajout d'ionophores tel que le monensin à la ration des vaches laitières nuit à l'efficacité de la biohydrogénation des AG polyinsaturés dans le rumen, entraînant une diminution de la synthèse de la matière grasse laitière (Alzahal et al., 2008). Aussi, selon les travaux d'Odongo et al. (2007), offrir des ionophores sur une longue période de temps réduit le pourcentage des AG de novo, incluant le 16:0 dans le gras du lait. À l'inverse, les teneurs en AG saturés à longue chaîne, en différents isomères de la biohydrogénation ainsi qu'en AG polyinsaturés n-3 et n-6 augmentent. Les travaux de méta-analyse par Duffield et al. (2008) montrent qu'en général, la supplémentation en monensin se traduit par une baisse des concentrations des AG à chaîne courte (-1 à -12%) et du 18:0 (-7,8%). L'impact du monensin sur les teneurs en 18:2n-6 et 18:3n-3 est variable d'une étude à l'autre, mais la supplémentation de cet ionophore entraîne une augmentation des concentrations en ALC c9t11 (+22%) dans la matière grasse laitière. On peut conclure de ces différentes études que l'ajout de monensin à la ration des vaches limite la biohydrogénation ruminale des AG insaturés, mais ces effets varient avec la durée de la supplémentation et sont tributaires de plusieurs autres facteurs confondants.

Autres facteurs

Actuellement, plusieurs travaux de recherche sont en cours pour évaluer les effets de différentes pratiques d'élevage tel que l'espace à la mangeoire, la densité animale, le mélange de la ration et la fréquence d'alimentation sur le profil en AG du lait. Bien que quelques travaux semblent associés certains facteurs comme une plus forte densité animale ou encore une faible fréquence d'alimentation à des réductions de la teneur en AG de novo du lait (Woolpert et al., 2016; 2017), aucun lien clair n'a encore été établi entre les pratiques d'élevage et des variations notables de teneur en 16:0 du lait.

Résumé

- L'acide palmitique (16:0) est naturellement l'AG prédominant dans la matière grasse laitière, indépendamment de ce que la vache consomme.
- On qualifie de modérée l'héritabilité des concentrations individuelles d'AG dans la matière grasse laitière. Comme pour les autres AG synthétisés de novo, l'héritabilité du 16:0 est plus élevée que celle des AG préformés. Il est donc possible que le profil en AG du lait réponde à une sélection génétique.
- La concentration en AG synthétisés de novo augmente dans la matière grasse laitière durant les premières 16 semaines de lactation, tout comme celle du 16:0. Cependant, puisque le 16:0 retrouvé dans le lait est synthétisé de novo par le tissu mammaire mais également prélevé de la circulation sanguine comme les autres AG préformés, l'augmentation des teneurs en cet AG au début de la lactation se fait à un rythme plus lent.
- En raison de la plus faible capacité du tissu mammaire des vaches primipares (première lactation) comparativement aux vaches multipares (2 lactations ou plus), la concentration en 16:0 dans la matière grasse laitière augmente avec la parité (nombre de mises bas ou lactations).
- Les recherches montrent que la matière grasse laitière produite et vendue pendant les mois d'hiver contient des concentrations plus élevées de 16:0 et plus faibles de 18:1c9, et ce dans différents pays à travers le monde. Toutefois, lorsque ces différences sont appliquées aux apports alimentaires estimés des individus, ces variations saisonnières ont très peu d'impact sur la composition en AG de la diète du consommateur.
- L'alimentation de la vache est le facteur environnemental ayant le plus d'impact sur la composition en AG du lait.
- De façon générale, les rations contenant beaucoup de concentrés, notamment des sources d'amidon, réduisent la teneur en gras du lait. Cette réduction est accompagnée d'une baisse des concentrations en AG de novo et des AG saturés, incluant le 16:0. Cependant, ces effets seront modulés, entre autres, par la nature des fourrages qui composent la ration de base, la composition en AG de cette ration et la dégradabilité de l'amidon.
- Les vaches alimentées au pâturage produisent un lait avec des concentrations en 18:0, 18:1, 18:3n-3 et en ALC c9t11 plus élevées, alors que les teneurs en AG de novo, y compris en 16:0, sont plus faibles.

- L'ajout de suppléments lipidiques dans la ration de la vache inhibe certains enzymes responsables de la synthèse de novo des AG dans le tissu mammaire ce qui conduit à une réduction des teneurs en AG à courte et moyenne chaîne dans la matière grasse laitière. Plus la chaîne des AG de novo est longue (jusqu'à 12:0), plus cette réduction sera importante.
- L'effet des suppléments lipidiques sur la composition en AG du lait est dépendant i) de la quantité de lipides qui est incluse dans la ration, ii) de la composition en AG du supplément lipidique, iii) de la forme sous laquelle le supplément lipidique est offert, et iv) de la composition des autres ingrédients de la ration.
- Les suppléments lipidiques enrichis en AG saturés sont une source d'énergie intéressante pour la vache laitière puisqu'ils n'ont que peu, voire pas d'impact sur la fermentation ruminale, ont un effet limité sur la prise alimentaire des animaux lorsque comparés à d'autres sources de lipides et contribuent à augmenter la production de lait et de ses composantes.
- La plupart des suppléments d'AG saturés disponibles commercialement contiennent des proportions variées de 16:0 et de 18:0.
- Pour chaque unité de pourcentage d'augmentation d'un supplément de 16:0 dans la composition de la ration d'une vache, sur une base de matière sèche ingérée, on estime à 8,1% l'augmentation moyenne de la teneur en 16:0 dans la matière grasse laitière.
- Bien que l'ajout de suppléments lipidiques dérivés de l'industrie de l'huile de palme augmente la teneur en 16:0 de la matière grasse laitière, ce n'est pas le facteur le plus déterminant.

Références

- » Akraim, F., M.-C. Nicot, P. Juaneda et F. Enjalbert. 2007. Conjugated linolenic acid (CLnA), conjugated linoleic acid (CLA) and other biohydrogenation intermediates in plasma and milk fat of cows fed raw or extruded linseed. *Animal* 1:835-843. doi:10.1017/S175173110700002X.
- » Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83:1598-1624. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2.
- » Alzahal, O., N.E. Odongo, T. Mutsvangwa, M.M. Or-Rashid, T.F. Duffield, R. Bagg, P. Dick, G. Vessies et B.W. McBride. 2008. Effects of monensin and dietary soybean oil on milk fat percentage and milk fatty acid profile in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91:1166-1174. doi:10.3168/jds.2007-0232.
- » Arnould, V.M.-R. et H. Soyeurt. 2009. Genetic variability of milk fatty acids. *Journal of Applied Genetics* 50:29-39. doi:10.1007/BF03195649.
- » Bargo, F., J.E. Delahoy, G.F. Schroeder et L.D. Muller. 2006. Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pasture allowances and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Animal Feed Science and Technology* 125:17-31. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.05.010.
- » Bastin, C., N. Gengler et H. Soyeurt. 2011. Phenotypic and genetic variability of production traits and milk fatty acid contents across days in milk for Walloon Holstein first-parity cows. *Journal of Dairy Science* 94:4152-4163. doi:10.3168/jds.2010-4108.
- » Bauchart, D., R. Vérité et B. Remond. 1984. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. *Canadian Journal of Animal Science* 64:330. doi:10.4141/cjas84-285.
- » Bauman, D.E., D.M. Barbano, D.A. Dwyer et J.M. Griinari. 2000. Technical note: Production of butter with enhanced conjugated linoleic acid for use in biomedical studies with animal models. *Journal of Dairy Science* 83:2422-2425. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75131-9.
- » Bauman, D.E. et J.M. Griinari. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science* 70: 15-29. doi:10.1016/S0301-6226(01)00195-6.
- » Bayat, A.R., P. Kairenius, T. Stefański, H. Leskinen, S. Comtet-Marre, E. Forano, F. Chaucheyras-Durand et K.J. Shingfield. 2015. Effect of camelina oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science* 98:3166-3181. doi:10.3168/jds.2014-7976.

- » Beaulieu, A.D. et D.L. Palmquist. 1995. Differential Effects of high fat diets on fatty acid composition in milk of Jersey and Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 78:1336–1344. doi:10.3168/jds.S0022-0302(95)76755-8.
- » Bell, J.A., J.M. Griinari et J.J. Kennelly. 2006. Effect of safflower oil, flaxseed oil, monensin, and vitamin E on concentration of conjugated linoleic acid in bovine milk fat. *Journal of Dairy Science* 89:733–748. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72135-X.
- » Bilal, G., R.I. Cue, A.F. Mustafa et J.F. Hayes. 2014. Effects of parity, age at calving and stage of lactation on fatty acid composition of milk in Canadian Holsteins. *Canadian Journal of Animal Science* 94:401–410. doi:10.4141/CJAS2013-172.
- » Bitman, J., D.L. Wood, R.H. Miller, H.F. Tyrrell, C.K. Reynolds et H.D. Baxter. 1996. Comparison of milk and blood lipids in Jersey and Holstein cows fed total mixed rations with or without whole cottonseed. *Journal of Dairy Science* 79:1596–1602. doi:10.3168/jds.S0022-0302(96)76522-0.
- » Bobe, G., J.A. Minick Bormann, G.L. Lindberg, A.E. Freeman et D.C. Beitz. 2008. Short communication: Estimates of genetic variation of milk fatty acids in US Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 91:1209–1213. doi:10.3168/jds.2007-0252.
- » Boerman, J.P. et A.L. Lock. 2014. Effect of unsaturated fatty acids and triglycerides from soybeans on milk fat synthesis and biohydrogenation intermediates in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97:7031–7042. doi:10.3168/jds.2014-7966.
- » Boufaïed, H., P.Y. Chouinard, G.F. Tremblay, H. V. Petit, R. Michaud et G. Bélanger. 2003. Fatty acids in forages. II. In vitro ruminal biohydrogenation of linolenic and linoleic acids from timothy. *Canadian Journal of Animal Science* 83:513–522. doi:10.4141/A02-099
- » Capuano, E., R. Gravink, R. Boerrigter-Eenling et S.M. van Ruth. 2015. Fatty acid and triglycerides profiling of retail organic, conventional and pasture milk: Implications for health and authenticity. *International Dairy Journal* 42:58–63. doi:10.1016/j.idairyj.2014.11.002.
- » Chilliard, Y., A. Ferlay et M.D. Doreau. 2001. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Production Science* 70.1-2 (2001): 31-48. doi:10.1016/S0301-6226(01)00196-8.
- » Chilliard, Y., A. Ferlay, R.M. Mansbridge, M. Doreau et Y. Chilliard. 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 181-205). EDP Sciences. Doi:10.1051/animres:2000117.
- » Chilliard, Y., F. Glasser, A. Ferlay, L. Bernard, J. Rouel et M. Doreau. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109:828–855. doi:10.1002/ejlt.200700080.
- » Chilliard, Y., C. Martin, J. Rouel et M. Doreau. 2009. Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output. *Journal of Dairy Science* 92:5199–5211. doi:10.3168/jds.2009-2375.
- » Christie, W.W. 1981. The composition, structure and function of lipids in the tissues of ruminant animals. *Lipid metabolism in ruminant animals*: 95-191. doi:10.1016/B978-0-08-023789-3.50008-8.
- » Couvreur, S., C. Hurtaud, C. Lopez, L. Delaby et J.L. Peyraud. 2006. The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *Journal of Dairy Science* 89:1956–1969. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72263-9.
- » Craninx, M., A. Steen, H. van Laar, T. van Nespen, J. Martin-Tereso, B. de Baets et V. Fievez. 2008. Effect of lactation stage on the odd- and branched-chain milk fatty acids of dairy cattle under grazing and indoor conditions. *Journal of Dairy Science* 91:2662–2677. doi:10.3168/jds.2007-0656.
- » DePeters, E.J., J.F. Medrano et B.A. Reed. 1995. Fatty acid composition of milk fat from three breeds of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 75:267–269. doi:10.4141/cjas95-040.
- » de Souza, J., J.L. Garver, C.L. Preseault et A.L. Lock. 2017. Short communication: Effects of prill size of a palmitic acid-enriched fat supplement on the yield of milk and milk components, and nutrient digestibility of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100:379–384. doi:10.3168/jds.2016-11610.
- » de Souza, J. et A.L. Lock. 2018a. Long-term palmitic acid supplementation interacts with parity in lactating dairy cows: Production responses, nutrient digestibility, and energy partitioning. *Journal of Dairy Science* 101:3044–3056. doi:10.3168/jds.2017-13946.
- » de Souza, J. et A.L. Lock. 2018b. Short communication: Comparison of a palmitic acid-enriched triglyceride supplement and calcium salts of palm fatty acids supplement on production responses of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101:3110–3117. doi:10.3168/jds.2017-13560.
- » de Souza, J. et A.L. Lock. 2019. Milk production and nutrient digestibility responses to triglyceride or fatty acid supplements enriched in palmitic acid. *Journal of Dairy Science* 102:4155–4164. doi:10.3168/jds.2018-15690.
- » Dewhurst, R.J., K.J. Shingfield, M.R.F. Lee et N.D. Scollan. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology* 131:168–206. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.04.016.
- » Dhiman, T.R., L.D. Satter, M.W. Pariza, M.P. Galli, K. Albright et M.X. Tolosa. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *Journal of Dairy Science* 83:1016–1027. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74966-6.
- » dos Santos Neto, J.M., J. de Souza et A.L. Lock. 2021. Effects of calcium salts of palm fatty acids on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*. doi:10.3168/jds.2020-19936.
- » Duffield, T.F., A.R. Rabiee et I.J. Lean. 2008. A meta-analysis of the impact of monensin in lactating dairy cattle. Part 2. Production effects. *Journal of Dairy Science* 91:1347–1360. doi:10.3168/jds.2007-0608.
- » Elgersma, A., S. Tamminga et G. Ellen. 2006. Modifying milk composition through forage. *Animal Feed Science and Technology* 131:207–225. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.06.012.
- » Ellis, K.A., G. Innocent, D. Grove-White, P. Cripps, W.G. McLean, C. v. Howard et M. Mihm. 2006. Comparing the fatty acid composition of organic and conventional milk. *Journal of Dairy Science* 89:1938–1950. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72261-5.
- » Ferlay, A., B. Martin, S. Lerch, M. Gobert, P. Pradel et Y. Chilliard. 2010. Effects of supplementation of maize silage diets with extruded linseed, vitamin E and plant extracts rich in polyphenols, and morning v. evening milking on milk fatty acid profiles in Holstein and Montbéliarde cows. *Animal* 4:627–640. doi:10.1017/S1751731109991224.
- » Ferlay, A., B. Martin, P. Pradel, J.B. Coulon et Y. Chilliard. 2006. Influence of grass-based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. *Journal of Dairy Science* 89:4026–4041. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72446-8.
- » Flowers, G., S.A. Ibrahim et A.A. AbuGhazaleh. 2008. Milk fatty acid composition of grazing dairy cows when supplemented with linseed oil. *Journal of Dairy Science* 91:722–730. doi:10.3168/jds.2007-0410.
- » Gibson, J.P. 1991. The potential for genetic change in milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 74:3258–3266. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78511-1.
- » Givens, D.I., K.E. Kliem, D.J. Humphries, K.J. Shingfield et R. Morgan. 2009. Effect of replacing calcium salts of palm oil distillate with rapeseed oil, milled or whole rapeseeds on milk fatty-acid composition in cows fed maize silage-based diets. *Animal* 3:1067–1074. doi:10.1017/S175173110900442X.
- » Grummer, R.R. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74:3244–3257. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78510-X.
- » Halmemies-Beauchet-Filleau, A., T. Kokkonen, A.-M. Lampi, V. Toivonen, K.J. Shingfield et A. Vanhatalo. 2011. Effect of plant oils and camelina expeller on milk fatty acid composition in lactating cows fed diets based on red clover silage. *Journal of Dairy Science* 94:4413–4430. doi:10.3168/jds.2010-3885.
- » Hristov, A.N., C. Domitrovich, A. Wachter, T. Cassidy, C. Lee, K.J. Shingfield, P. Kairenius, J. Davis et J. Brown. 2011. Effect of replacing solvent-extracted canola meal with high-oil traditional canola, high-oleic acid canola, or high-erucic acid rapeseed meals on rumen fermentation, digestibility, milk production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94:4057–4074. doi:10.3168/jds.2011-4283.

- » Hristov, A.N., M. vander Pol, M. Agle, S. Zaman, C. Schneider, P. Ndegwa, V.K. Vaddella, K. Johnson, K.J. Shingfield et S.K.R. Karnati. 2009. Effect of lauric acid and coconut oil on ruminal fermentation, digestion, ammonia losses from manure, and milk fatty acid composition in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 92:5561–5582. doi:10.3168/jds.2009-2383.
- » Hu, W., J.P. Boerman et J.M. Aldrich. 2017. Production responses of Holstein dairy cows when fed supplemental fat containing saturated free fatty acids: A meta-Analysis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30:1105–1116. doi:10.5713/ajas.16.0611.
- » Hurtaud, C. et J.-L. Peyraud. 2007. Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *Journal of Dairy Science* 90:5134–5145. doi:10.3168/jds.2007-0031.
- » Jacobs, A.A.A., J. van Baal, M.A. Smits, H.Z.H. Taweel, W.H. Hendriks, A.M. van Vuuren et J. Dijkstra. 2011. Effects of feeding rapeseed oil, soybean oil, or linseed oil on stearoyl-CoA desaturase expression in the mammary gland of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94:874–887. doi:10.3168/jds.2010-3511.
- » Jahreis, G., J. Fritsche et H. Steinhart. 1997. Conjugated linoleic acid in milk fat: High variation depending on production system. *Nutrition Research* 17:1479–1484. doi:10.1016/S0271-5317(97)00138-3.
- » Jurjanz, S., V. Monteils, P. Juaneda et F. Laurent. 2004. Variations of trans octadecenoic acid in milk fat induced by feeding different starch-based diets to cows. *Lipids* 39:19–24. doi:10.1007/s11745-004-1196-4.
- » Kay, J.K., W.J. Weber, C.E. Moore, D.E. Bauman, L.B. Hansen, H. Chester-Jones, B.A. Crooker et L.H. Baumgard. 2005. Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 88:3886–3893. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)73074-5.
- » Kelsey, J.A., B.A. Corl, R.J. Collier et D.E. Bauman. 2003. The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86:2588–2597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73854-5.
- » Kliem, K.E. et K.J. Shingfield. 2016. Manipulation of milk fatty acid composition in lactating cows: Opportunities and challenges. *European Journal of Lipid Science and Technology* 118:1661–1683. doi:10.1002/ejlt.201400543.
- » Kliem, K.E., K.J. Shingfield, D.J. Humphries et D.I. Givens. 2011. Effect of replacing calcium salts of palm oil distillate with incremental amounts of conventional or high oleic acid milled rapeseed on milk fatty acid composition in cows fed maize silage-based diets. *Animal* 5:1311–1321. doi:10.1017/S1751731111000310.
- » Kliem, K.E., K.J. Shingfield, K.M. Livingstone et D.I. Givens. 2013. Seasonal variation in the fatty acid composition of milk available at retail in the United Kingdom and implications for dietary intake. *Food Chemistry* 141:274–281. doi:10.1016/j.foodchem.2013.02.116.
- » Kraft, J., M. Collomb, P. Möckel, R. Sieber, R. et G. Jahreis. 2003. Differences in CLA isomer distribution of cow's milk lipids. *Lipids* 38:657–664. doi:10.1007/s11745-003-1111-z.
- » Larsen, M.K., J.H. Nielsen, G. Butler, C. Leifert, T. Slots, G.H. Kristiansen et A.H. Gustafsson. 2010. Milk quality as affected by feeding regimens in a country with climatic variation. *Journal of Dairy Science* 93:2863–2873. doi:10.3168/jds.2009-2953.
- » Lock, A.L., C.L. Preseault, J.E. Rico, K.E. DeLand et M.S. Allen. 2013. Feeding a C16: 0-enriched fat supplement increased the yield of milk fat and improved conversion of feed to milk. *Journal of Dairy Science* 96:6650–6659. doi:10.3168/jds.2013-6892.
- » Lock, A.L. et K.J. Shingfield. 2004. Optimising milk composition. *BSAP Occasional Publication* 29 (2004): 107-188. doi:10.1017/S0263967X00040076
- » Loften, J.R., J.G. Linn, J.K. Drackley, T.C. Jenkins, C.G. Soderholm et A.F. Kertz. 2014. Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97:4661–4674. doi:10.3168/jds.2014-7919.
- » Looor, J.J., A. Ferlay, A. Ollier, M. Doreau et Y. Chilliard. 2005. Relationship among trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *Journal of Dairy Science* 88:726–740. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72736-3.
- » Mele, M., R. Dal Zotto, M. Cassandro, G. Conte, A. Serra, A. Buccioni, G. Bittante et P. Secchiari. 2009. Genetic parameters for conjugated linoleic acid, selected milk fatty acids et milk fatty acid unsaturation of Italian Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science* 92:392–400. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2008-1445.
- » Miller, N., L. Delbecchi, D. Petitclerc, G.F. Wagner, B.G. Talbot et P. Lacasse. 2006. Effect of stage of lactation and parity on mammary gland cell renewal. *Journal of Dairy Science* 89:4669–4677. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72517-6.
- » Mohammed, R., J.J. Kennelly, J.K.G. Kramer, K.A. Beauchemin, C.S. Stanton et J.J. Murphy. 2010. Effect of grain type and processing method on rumen fermentation and milk rumenic acid production. *Animal* 4:1425–1444. doi:10.1017/S175173111000039X.
- » Mohammed, R., S.M. McGinn et K.A. Beauchemin. 2011. Prediction of enteric methane output from milk fatty acid concentrations and rumen fermentation parameters in dairy cows fed sunflower, flax, or canola seeds. *Journal of Dairy Science* 94:6057–6068. doi:10.3168/jds.2011-4369.
- » Mosley, S.A., E.E. Mosley, B. Hatch, J.I. Szasz, A. Corato, N. Zacharias, D. Howes et M.A. McGuire. 2007. Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 90:987–993. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71583-7.
- » Noble, R.C., W. Steele et J.H. Moore. 1969. The effects of dietary palmitic and stearic acids on milk fat composition in the cow. *Journal of Dairy Research* 36:375–381. doi:10.1017/S0022029900012887.
- » Odongo, N.E., M.M. Or-Rashid, R. Bagg, G. Vessie, P. Dick, E. Kebreab, J. France et B.W. McBride. 2007. Long-term effects of feeding monensin on milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90:5126–5133. doi:10.3168/jds.2007-0242.
- » O'Donnell-Megaró, A.M., D.M. Barbano et D.E. Bauman. 2011. Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *Journal of Dairy Science* 94:59–65. doi:10.3168/jds.2010-3571.
- » Palmquist, D.L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 74:1354–1360. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78290-8.
- » Palmquist, D.L., A. Denise Beaulieu et D.M. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76:1753–1771. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77508-6.
- » Paredes, C.L.L., M. Werteker, B. Rossmann, J. Keplinger, I.L. Olschewski et M. Schreiner. 2018. Discrimination of haymilk and conventional milk via fatty acid profiles. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12:1391–1398. doi:10.1007/s11694-018-9753-0.
- » Piantoni, P., A.L. Lock et M.S. Allen. 2013. Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 96:7143–7154. doi:10.3168/jds.2013-6680.
- » Rabiee, A.R., K. Breinhild, W. Scott, H.M. Golder, E. Block et I.J. Lean. 2012. Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science* 95:3225–3247. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2011-4895.
- » Rani, Z.T., M. Chimonyo, A. Hugo, U. Marume et V. Muchenje. 2011. Effect of parity on the proximate composition and fatty acid profile of milk from Nguni cattle grazing on natural pastures. *African Journal of Biotechnology* 10:8647–8653. doi:10.5897/ajb10.2384.
- » Rego, O.A., S.P. Alves, L.M.S. Antunes, H.J.D. Rosa, C.F.M. Alfaia, J.A.M. Prates, A.R.J. Cabrita, A.J.M. Fonseca et R.J.B. Bessa. 2009. Rumen biohydrogenation-derived fatty acids in milk fat from grazing dairy cows supplemented with rapeseed, sunflower, or linseed oils. *Journal of Dairy Science* 92:4530–4540. doi:10.3168/jds.2009-2060.
- » Rico, J.E., M.S. Allen et A.L. Lock. 2014. Compared with stearic acid, palmitic acid increased the yield of milk fat and improved feed efficiency across production level of cows. *Journal of Dairy Science* 97:1057–1066. doi:10.3168/jds.2013-7432.
- » Roy, A., A. Ferlay, K.J. Shingfield et Y. Chilliard. 2006. Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to plant oils in cows given different basal diets, with particular emphasis on trans-C18: 1 fatty acids and isomers of conjugated linoleic acid. *Animal Science* 82:479–492. doi:10.1079/ASC200658.
- » Saliba, L., R. Gervais, Y. Lebeuf et P.Y. Chouinard. 2014. Effect of feeding linseed oil in diets differing in forage to concentrate ratio: 1. Production performance and milk fat content of biohydrogenation intermediates of α -linolenic acid. *Journal of Dairy Research* 81. doi:10.1017/S0022029913000691.

- » Schwendel, B.H., P.C.H. Morel, T.J. Wester, M.H. Tavendale, C. Deadman, B. Fong, N.M. Shadbolt, A. Thatcher et D.E. Otter. 2015. Fatty acid profile differs between organic and conventionally produced cow milk independent of season or milking time. *Journal of Dairy Science* 98:1411–1425. doi:10.3168/jds.2014-8322.
- » Secchiari, P., M. Mele, A. Serra, A. Buccioni, F. Paoletti et M. Antongiovanni. 2003. Italian Journal of Animal Science Effect of breed, parity and stage of lactation on milk conjugated linoleic acid content in Italian Friesian and Reggiana cows. *Journal of Animal Science* 2:269–271. doi:10.4081/ijas.2003.11675982.
- » Shepardson, R.P. et K.J. Harvatine. 2021. Effects of fat supplements containing different levels of palmitic and stearic acid on milk production and fatty acid digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104:7682–7695. doi:10.3168/jds.2020-19665.
- » Shingfield, K.J., M. Bonnet et N.D. Scollan. 2013. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal* 7(s1) 132–162. doi:10.1017/S1751731112001681.
- » Shingfield, K.J., P. Salo-Väänänen, E. Pahkala, V. Toivonen, S. Jaakkola, V. Piironen et P. Huhtanen. 2005. Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk. *Journal of Dairy Research* 72:349–361. doi:10.1017/S0022029905000919.
- » Soyeurt, H., P. Dardenne, A. Gillon, C. Croquet, S. Vanderick, P. Mayeres, C. Bertozzi et N. Gengler. 2006. Variation in fatty acid contents of milk and milk fat within and across breeds. *Journal of Dairy Science* 89:4858–4865. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72534-6.
- » Soyeurt, H., A. Gillon, S. Vanderick, P. Mayeres, C. Bertozzi et N. Gengler. 2007. Estimation of heritability and genetic correlations for the major fatty acids in bovine milk. *Journal of Dairy Science* 90:4435–4442. doi:10.3168/jds.2007-0054.
- » Steele, W. et J.H. Moore. 1968. The effects of a series of saturated fatty acids in the diet on milk-fat secretion in the cow. *Journal of Dairy Research* 35:361–370. doi:10.1017/S0022029900019099.
- » Sterk, A., B.E.O. Johansson, H.Z.H. Taweel, M. Murphy, A.M. van Vuuren, W.H. Hendriks et J. Dijkstra. 2011. Effects of forage type, forage to concentrate ratio, and crushed linseed supplementation on milk fatty acid profile in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94:6078–6091. doi:10.3168/jds.2011-4617.
- » Stoop, W.M., J.A.M. van Arendonk, J.M.L. Heck, H.J.F. van Valenberg et H. Bovenhuis. 2008. Genetic parameters for major milk fatty acids and milk production traits of dutch Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science* 91:385–394. doi:10.3168/jds.2007-0181.
- » Stull, J.W. et W.H. Brown. 1964. Fatty acid composition of milk. II. Some differences in common dairy breeds. *Journal of Dairy Science* 47:1412. doi:10.3168/jds.S0022-0302(64)88928-1.
- » Thomson, N.A. et W. Poel. 2000. Seasonal variation of the fatty acid composition of milkfat from Friesian cows grazing pasture. In *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* (Vol. 60, pp. 314-317).
- » Townsend, S.J., B.D. Siebert et W.S. Pitchford. 1997. Variation in milk fat content and fatty acid composition of Jersey and Friesian Cattle. *Proceedings of the Association Advancement of Animal Breeding and Genetics* 12: 283-291.
- » Villeneuve, M.-P., Y. Lebeuf, R. Gervais, G.F. Tremblay, J.C. Vuilleumard, J. Fortin et P.Y. Chouinard. 2013. Milk volatile organic compounds and fatty acid profile in cows fed timothy as hay, pasture, or silage. *Journal of Dairy Science* 96: 7181-7194. doi:10.3168/jds.2013-6785.
- » Wathes, D.C., Z. Cheng, N. Bourne, V.J. Taylor, M.P. Coffey et S. Brotherstone. 2007. Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domestic Animal Endocrinology* 33:203–225. doi:10.1016/j.domaniend.2006.05.004.
- » 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. *Journal of Dairy Science* 99:8486–8497. doi:10.3168/jds.2016-10998.
- » 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. *Journal of Dairy Science* 100:5097–5106. doi:10.3168/jds.2016-12046.

Chapitre 4 : variation régionale et saisonnière de la composition en acides gras du lait canadien

Auteurs de ce chapitre :

- Karen Hand, Ph. D. et David Kelton, D. M. V., Ph. D., University of Guelph
- Daniel Lefebvre, Ph. D., PAS, Dipl. ACAN, agr., chef de l'exploitation, Lactanet

Aperçu

Étant donné qu'il existe peu d'informations publiées sur les variations régionales et saisonnières de la composition en acides gras du lait provenant des 10 095 fermes laitières du Canada, une étude d'observation a été entreprise pour utiliser les données existantes afin de décrire la composition en acides gras du lait échantillonné des citernes et sa variabilité selon les saisons et les régions du Canada. Grâce à la coopération des offices provinciaux du lait et de Lactanet, nous avons pu assembler et analyser deux ensembles de données.

Le premier ensemble de données (ensemble de données A) comprenait l'analyse d'un échantillon de lait provenant de chaque ramassage à la ferme de toutes les fermes laitières de l'Ontario et du Québec entre octobre 2019 et avril 2021 (n=1 810 450), ce qui représente 80 % de toutes les fermes laitières du Canada et 70 % de toutes les vaches laitières du Canada, selon les statistiques de l'industrie laitière de 2020. Cet ensemble de données a été utilisé pour décrire les changements dans la composition en acides gras du lait au fil du temps (18 mois).

Le deuxième ensemble de données (ensemble de données B) comprenait l'analyse d'échantillons de lait des citernes provenant de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique, recueillis entre mai et juillet 2021 (n=191 000 échantillons). Le profil des acides gras de tous les échantillons a été analysé par Lactanet. Cet ensemble de données a été utilisé pour décrire les différences de composition en acides gras du lait au pays, 9 743 des 10 095 (96,5 %) fermes laitières étant représentées.

Analyse de l'ensemble de données A

Dans l'ensemble, il n'y a pas eu de changements notables dans la composition 14:0, 16:0, 18:0 ou 18:1 du lait du Québec et de l'Ontario au cours de la période de 18 mois (figures 1-4). On constate une petite augmentation numérique de 14:0 et 16:0, et une petite diminution numérique de 18:0 et 18:1 au cours des 6 derniers mois (novembre 2020 à avril 2021) par rapport aux mêmes 6 mois de l'année précédente (novembre 2019 à avril 2020), mais étant donné la grande variation entre les fermes au cours de chaque mois, la signification de cette petite augmentation moyenne n'est pas claire. Ces données montrent clairement qu'il existe une énorme variation entre les fermes, ce qui suggère que de nombreux facteurs liés à la ferme (décrits ci-dessus) influencent la composition en acides gras du lait, et que la variation entre les fermes est bien plus importante que la variation saisonnière ou temporelle globale.

Analyse de l'ensemble de données B

Bien qu'il y ait de petites différences dans la composition globale en acides gras du lait entre les provinces, les provinces de l'Ouest (Manitoba, Alberta et Colombie-Britannique) ont des niveaux légèrement plus élevés de 16:0 et des niveaux légèrement plus bas de 18:1 que l'Ontario et les provinces de l'Est (Nouvelle-Écosse et Nouveau-Brunswick) (figures 5-8). Étant donné la grande variation entre les fermes de chaque province, la signification de ces petites différences n'est pas claire. Ici encore, la variation entre les fermes d'une même région est beaucoup plus importante que les différences globales entre les provinces ou les régions. Les statistiques sommaires des principaux acides gras du lait de chaque province sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Statistiques sommaires par province pour les principaux acides gras (C:14, C:16, C:18_0 et C:18_1) basées sur l'analyse d'échantillons de lait des citernes recueillis à la fin du printemps et au début de l'été 2021.

PROV	FATTY ACID (G/100 G TOTAL FA)	N	MEAN	STD	MIN	MEDIAN	MAX
NS	C:14	191	10.63	1.03	7.17	10.79	12.70
NB	C:14	330	10.53	1.06	7.50	10.62	13.05
QC	C:14	149243	11.24	0.80	5.80	11.32	14.27
ON	C:14	99362	11.09	0.80	6.09	11.14	14.42
MB	C:14	303	10.74	0.79	8.39	10.71	12.95
AB	C:14	3060	10.97	0.78	5.95	10.99	13.47
BC	C:14	529	10.96	0.81	6.14	11.03	13.22
NS	C:16	191	30.62	2.53	21.58	31.17	35.23
NB	C:16	330	30.37	2.34	23.85	30.53	36.31
QC	C:16	149243	31.52	1.88	21.77	31.68	39.97
ON	C:16	99362	31.14	2.07	19.60	31.23	41.57
MB	C:16	303	32.04	1.93	26.33	32.10	37.43
AB	C:16	3060	33.27	2.09	22.12	33.31	47.62
BC	C:16	529	31.96	2.16	21.89	31.86	37.78
NS	C:18_0	191	10.27	0.98	7.44	10.29	13.12
NB	C:18_0	330	10.78	0.94	8.28	10.79	13.09
QC	C:18_0	149243	10.47	0.87	0.05	10.42	21.69
ON	C:18_0	99362	10.28	0.86	5.07	10.27	14.68
MB	C:18_0	303	10.54	0.95	7.90	10.53	13.08
AB	C:18_0	3060	10.62	1.00	0.04	10.63	15.18
BC	C:18_0	529	10.75	0.86	8.49	10.75	15.22
NS	C:18_1	191	22.50	1.84	18.32	22.36	28.18
NB	C:18_1	330	22.87	1.94	17.96	22.69	28.31
QC	C:18_1	149243	22.14	1.63	13.64	21.95	35.14
ON	C:18_1	99362	23.61	2.08	15.70	23.50	35.78
MB	C:18_1	303	22.42	1.43	18.37	22.43	26.81
AB	C:18_1	3060	21.91	1.55	13.12	21.84	32.27
BC	C:18_1	529	22.26	1.74	17.28	22.22	34.35

Figure 1 : moyenne mensuelle de 14:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période d'octobre 2019 à avril 2021 pour toutes les fermes laitières du Québec et de l'Ontario (n=8 133).

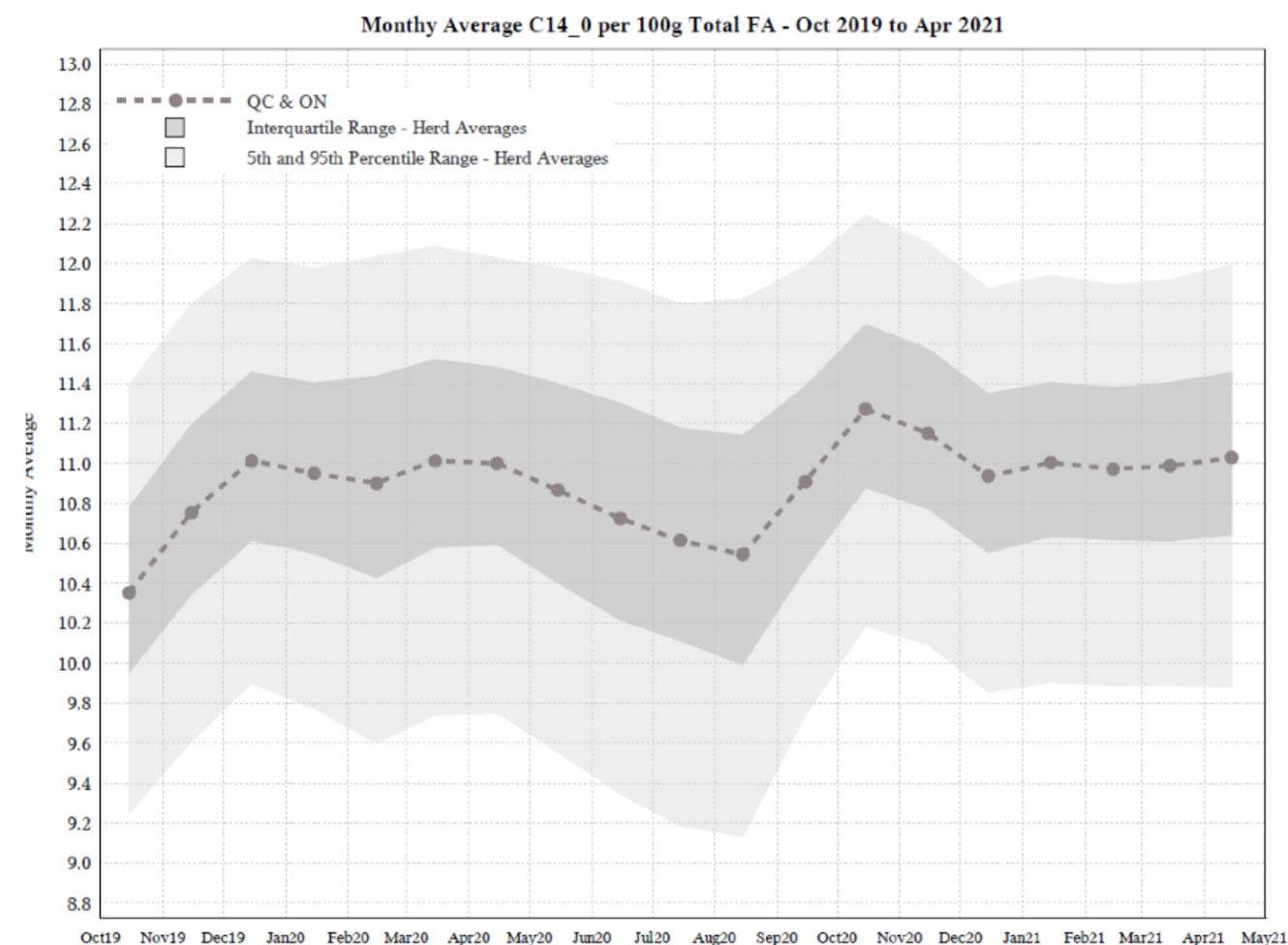


Figure 2 : moyenne mensuelle de 16:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période d'octobre 2019 à avril 2021 pour toutes les fermes laitières du Québec et de l'Ontario (n=8 133).

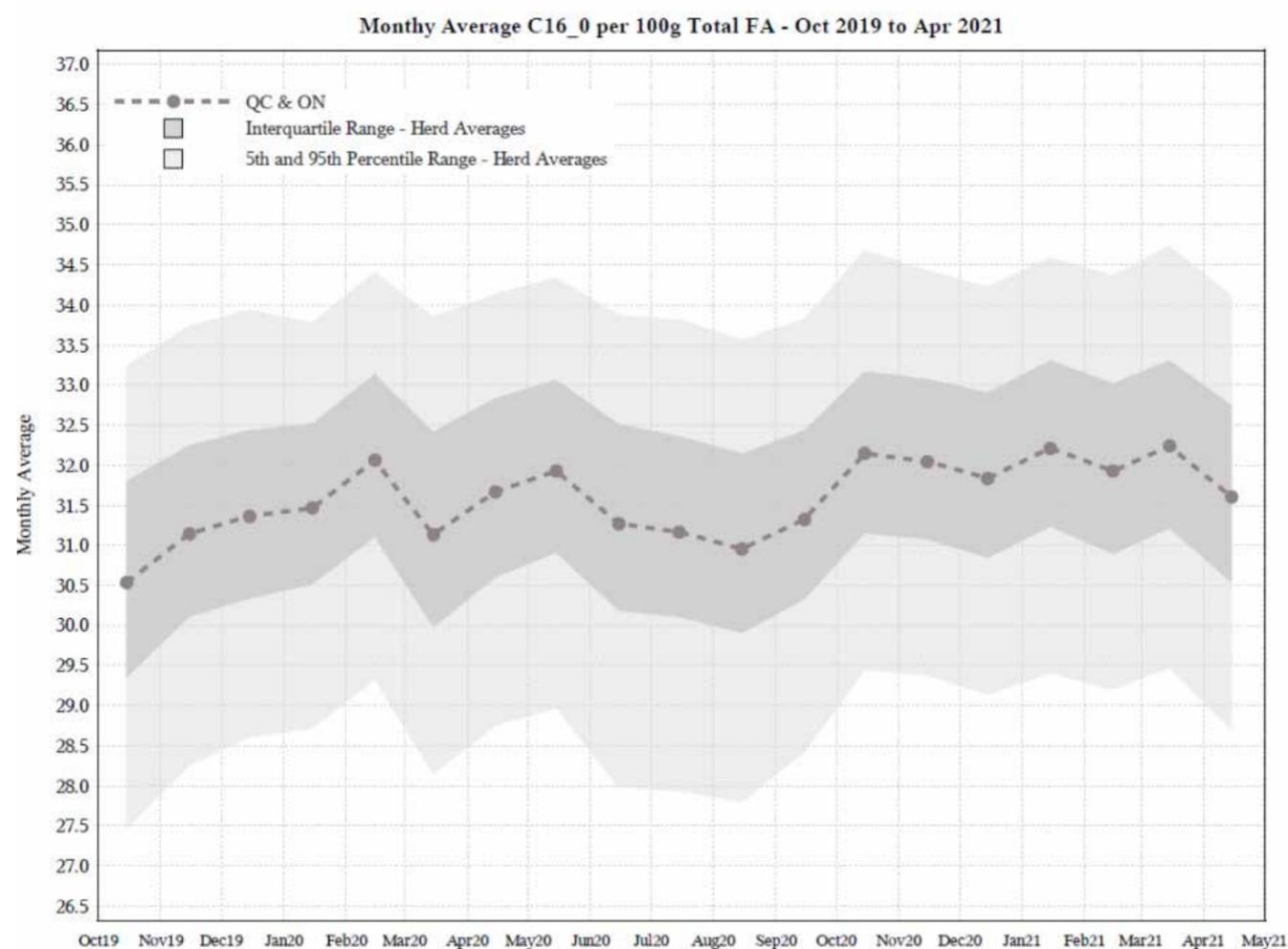


Figure 3: moyenne mensuelle de 18:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période d'octobre 2019 à avril 2021 pour toutes les fermes laitières du Québec et de l'Ontario (n=8 133).

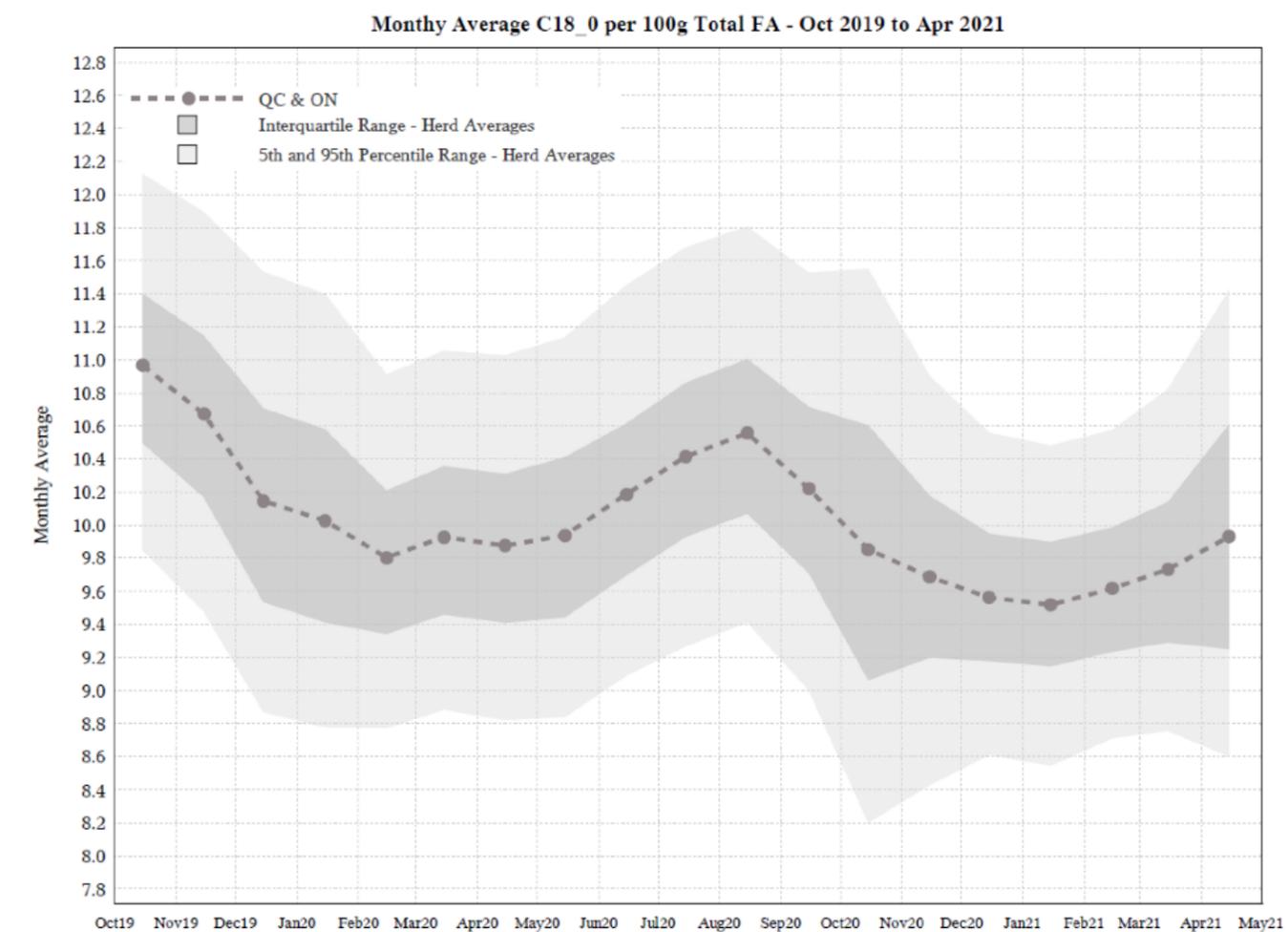


Figure 4 : moyenne mensuelle de 18:1 par 100 g d'acides gras totaux pour la période d'octobre 2019 à avril 2021 pour toutes les fermes laitières du Québec et de l'Ontario (n=8 133).

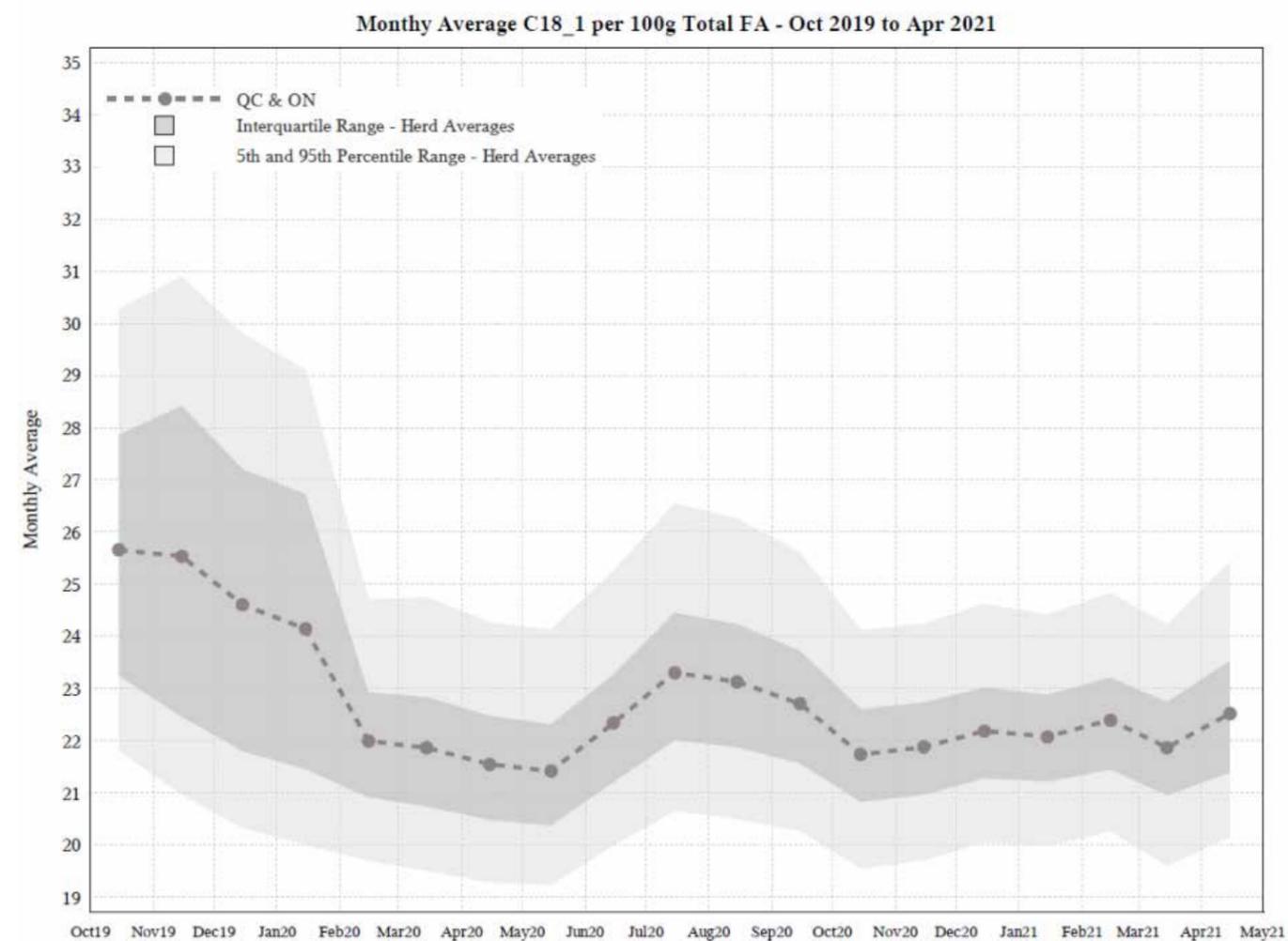


Figure 5 : moyenne provinciale de 14:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période de mai 2021 à juillet 2021 pour toutes les fermes laitières de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (n=9,743).

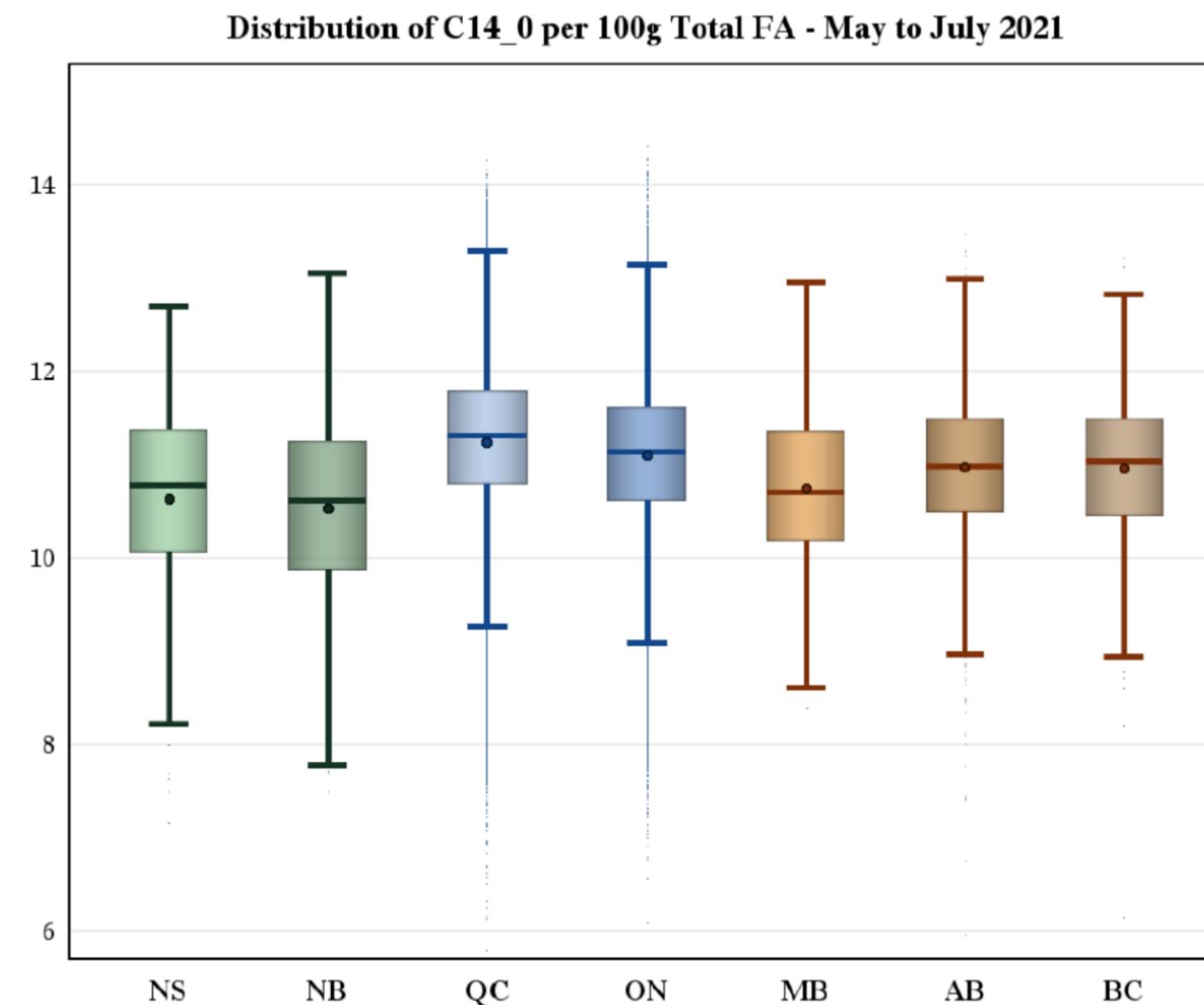


Figure 6 : moyenne provinciale de 16:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période de mai 2021 à juillet 2021 pour toutes les fermes laitières de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (n=9,743).

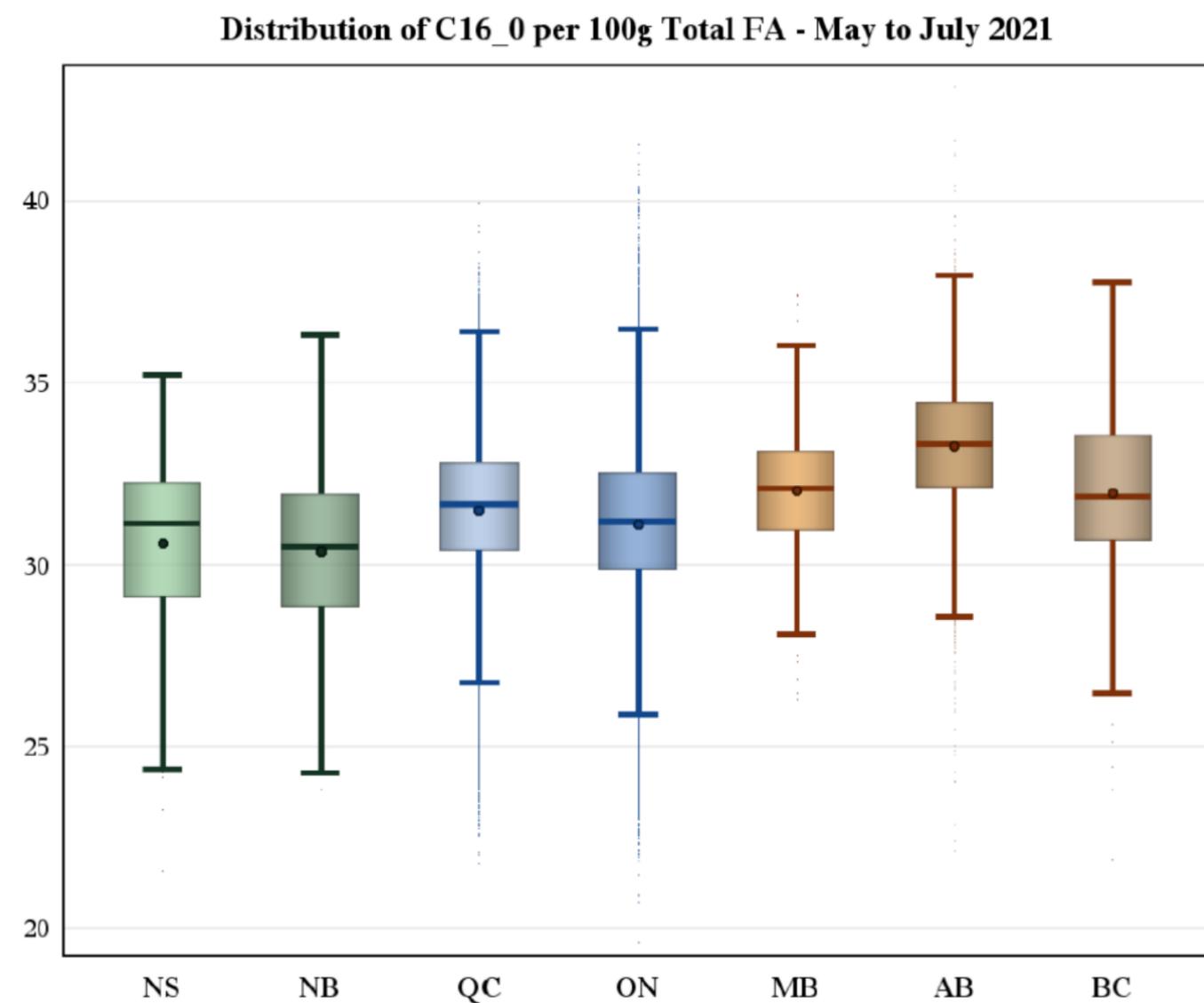


Figure 7 : moyenne provinciale de 18:0 par 100 g d'acides gras totaux pour la période de mai 2021 à juillet 2021 pour toutes les fermes laitières de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (n=9,743).

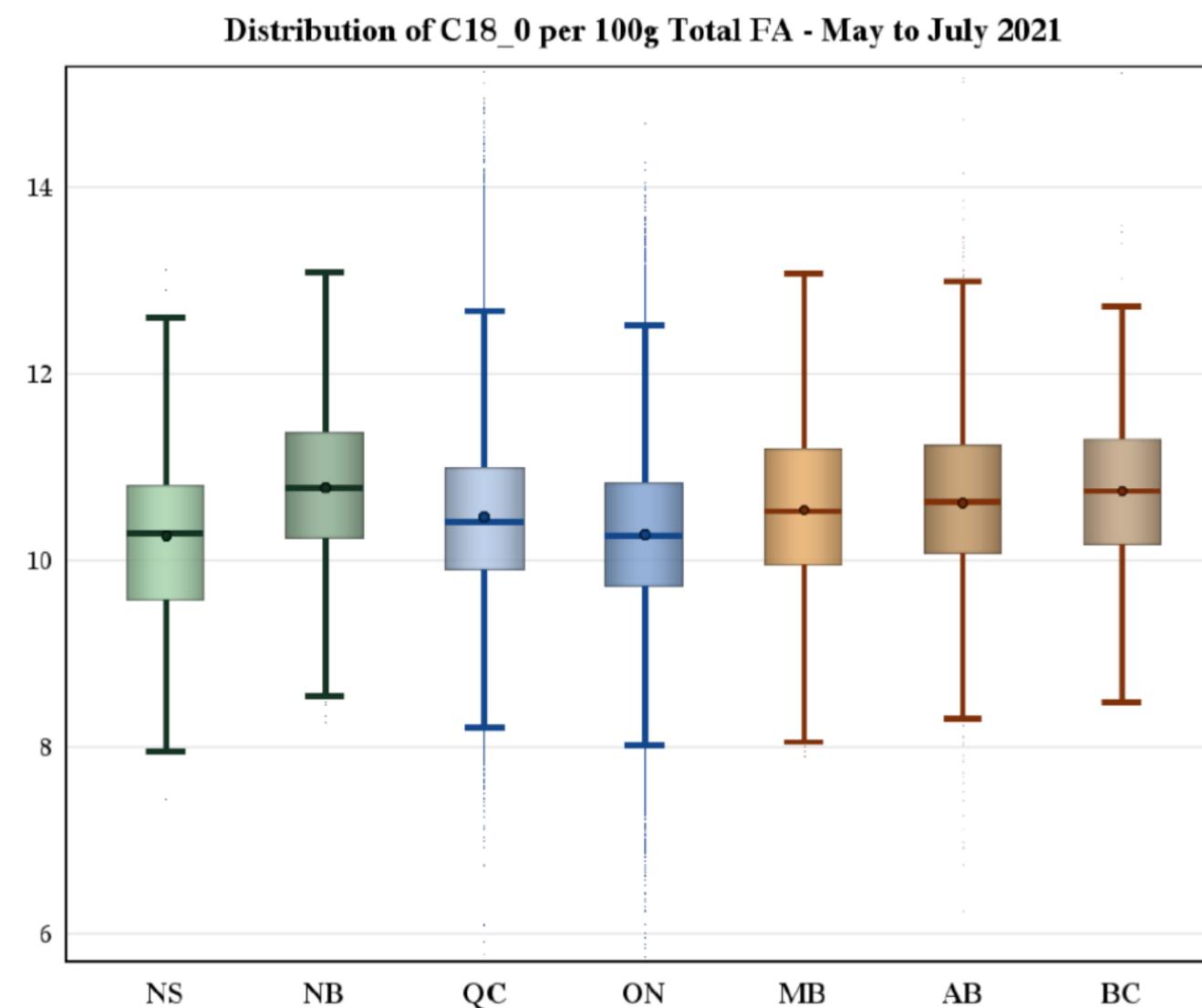
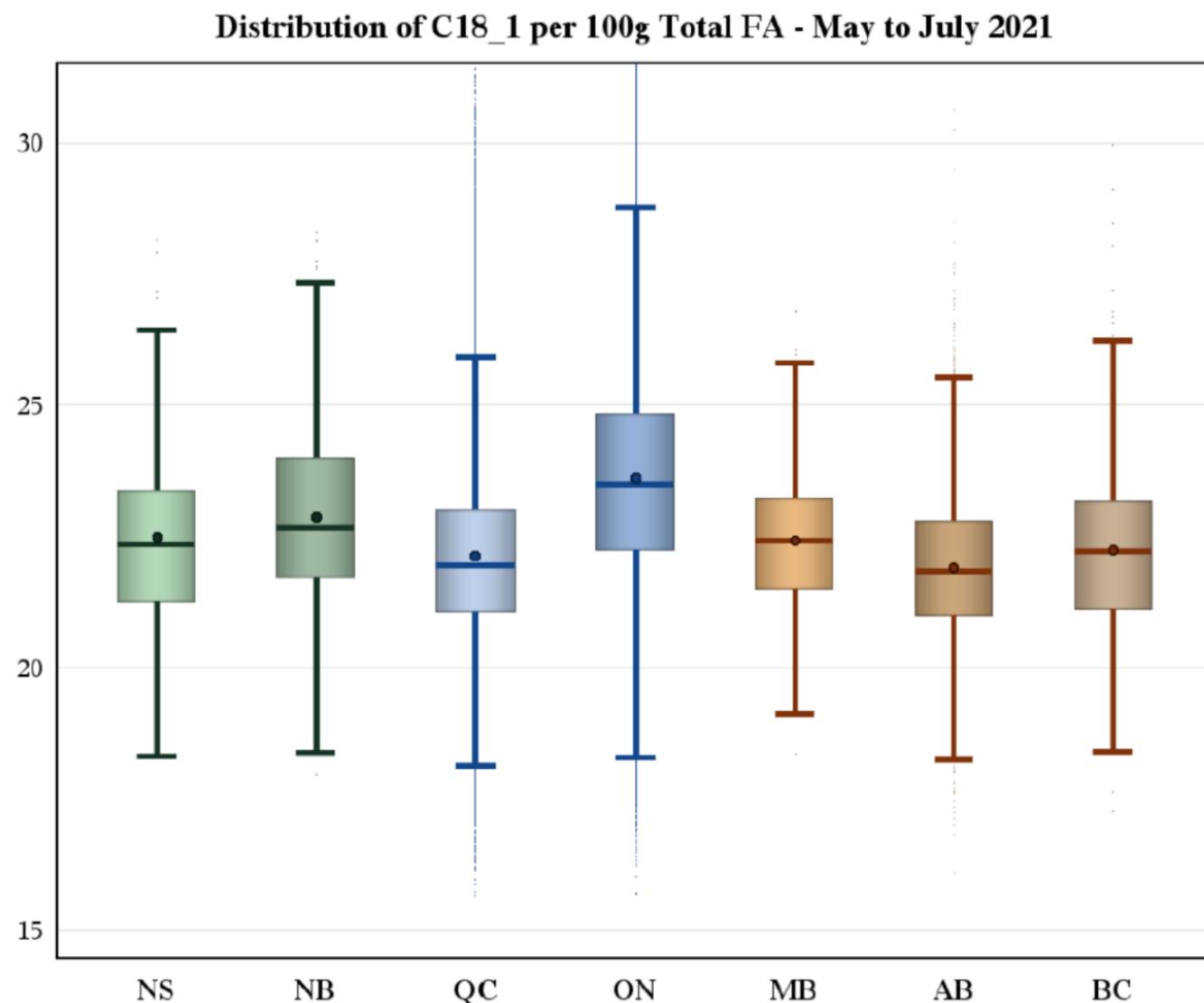


Figure 8 : moyenne provinciale de 18:1 par 100 g d'acides gras totaux pour la période de mai 2021 à juillet 2021 pour toutes les fermes laitières de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, de l'Ontario, du Manitoba, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (n=4,977).



Résumé du chapitre

- D'après l'analyse d'échantillons des citernes de lait de la plupart des fermes laitières du Canada, la composition en acides gras du lait a très peu changé et il n'y a que de petites différences saisonnières et régionales dans la composition en acides gras.
- La variation entre les fermes est beaucoup plus importante que les différences dans le temps ou entre les régions, ce qui confirme le fait que de nombreux facteurs liés à la ferme déterminent la composition en acides gras du lait produit dans chaque ferme. Malgré cela, la composition globale de l'offre du lait (mise en commun) est restée assez constante.

IMPACT DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION SUR LES CARACTÉRISTIQUES DU BEURRE

Chapitre 5 : Impact des procédés de transformation sur les propriétés du beurre

Auteurs de chapitres :

- Iris Dussault-Chouinard, MSc et Ronan Corcuff, MSc, Institut de la nutrition et des aliments fonctionnels, (INAF), Université Laval
- Yves Pouliot, Ph.D., Centre de recherche laitière STELA, Université Laval

Aperçu

Les attributs de texture, qui sont la manifestation sensorielle et fonctionnelle des propriétés structurales, mécaniques et de surface des aliments, peuvent être corrélés aux propriétés rhéologiques. Plusieurs termes ont été définis pour évaluer la texture du beurre (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020). Les propriétés d'intérêt les plus courantes sont la « fermeté » ou la « dureté » et la « capacité d'étalement », qui sont des indicateurs utilisés comme attributs sensoriels et de contrôle de la qualité (Mattice, Wright et al. 2020). Ces deux propriétés sont inversement liées (Wright, Scanlon et al. 2001). L'aptitude à l'étalement du beurre, ou la facilité avec laquelle il s'étale sur un autre substrat, reflète l'état de dispersion des cristaux de graisse et de l'huile liquide. Le terme « consistance » peut également être utilisé pour décrire l'aptitude à l'étalement du beurre (Schäffer, Szakály et al. 2001). Elle est affectée par plusieurs facteurs, tels que le rapport graisse solide/liquide, la taille et la forme des cristaux de graisse, les traitements mécaniques et la température (Vélez-Ruiz, Barbosa Cánovas et al. 1997).

Pour être tartinable, le beurre doit typiquement posséder une teneur en matière grasse solide (SFC) inférieure à 45 % ou plus précisément comprise entre 20 % et 40 % à des températures comprises entre 11 °C et 20 °C (Frede 2002, Mattice, Wright et al. 2020). La dureté du beurre, ou résistance à la déformation ou à la pénétration, est liée à sa réponse structurale à certaines forces externes. En d'autres termes, il représente la capacité élastique de la graisse à répondre aux forces de compression (Vélez-Ruiz, Barbosa Cánovas et al. 1997). Certains auteurs utilisent les termes « fermeté » et « dureté » de manière interchangeable, tandis que d'autres suggèrent l'utilisation de « fermeté » pour la déformation viscoélastique récupérable et le terme « dureté » pour la déformation plastique non récupérable (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020). Le terme « dureté » sera utilisé dans ce chapitre.

Caractérisation et relation avec les propriétés texturales

Les tests effectués sur le beurre pour évaluer les propriétés rhéologiques peuvent être classés en trois grandes catégories : tests imitatifs (ou en systèmes modèles), empiriques et fondamentaux. Les tests imitatifs, comme les machines qui imitent l'étalement du beurre sur le pain en mesurant le cisaillement imposé par un tranchant de couteau, montrent une certaine corrélation avec des scores sensoriels ou des méthodes empiriques, mais ils manquent de méthodologie, de contrôle des déformations et de mesures quantitatives. Les tests empiriques imitent plus fidèlement les notions de base de déformations appliquées lors de la transformation et de l'utilisation du produit. Leurs mesures sont bien corrélées avec l'évaluation sensorielle de la texture. Ils sont utiles pour le contrôle qualité et le développement de produits. Les tests fondamentaux sont rigoureusement définis en termes physiques et mathématiques et visent à mesurer les propriétés apparentes réelles ou apparentes. Ils sont utilisés à des fins de recherche et développement et nécessitent un certain degré d'expertise (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020).

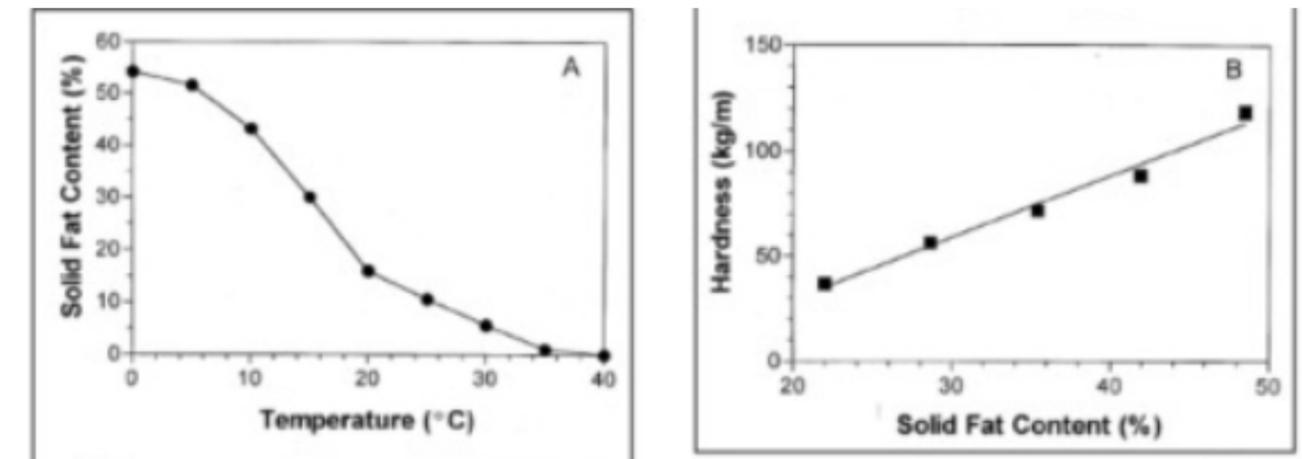
Quatre méthodes objectives empiriques et fondamentales sont couramment utilisées pour évaluer le beurre : la pénétration, la découpe, l'extrusion et la compression (Vélez-Ruiz, Barbosa Cánovas et al. 1997) :

- La **pénétrométrie** est la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer la texture du beurre. Les tests de pénétration sont basés sur la résistance d'un matériau à être « percé » ou indenté par un corps d'essai : tige, cône, sphère, aiguille, etc. Les résultats sont rapportés en profondeurs de pénétration ou convertis en valeurs de limite élastique, en indices de dureté ou d'étalement, en utilisant diverses équations dépendant de l'organisme d'essai et des conditions d'essai (Van Aken et Visser 2000, Macias-Rodriguez et Marangoni 2020).
- Le **test de sectilité**, également appelé test de coupe au fil, est une mesure de la force nécessaire pour couper le beurre à l'aide d'un fil d'acier tendu à vitesse constante. Un rhéomètre de type machine d'essai universelle (UTM) peut être utilisé (McCarthy et Wong 2020). La dernière norme pour mesurer la dureté du beurre est basée sur la mesure de la sectilité à une vitesse de coupe de 1,0 mm s⁻¹ (International Standards Organization 2005). D'excellentes corrélations entre les tests de sectilité et la fermeté et la viscosité du beurre ont été rapportées.
- Les **tests de compression** sont l'un des tests les plus populaires pour déterminer les propriétés rhéologiques fondamentales, les propriétés de fracture et les attributs de texture empiriques. Ils consistent à déformer une éprouvette de dimensions connues à force constante ou à vitesse de traverse constante pendant un temps normalisé. Une combinaison de module de cisaillement apparent (G) et de viscosités (η) fournit une mesure de la « fermeté » (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020).
- L'**extrusion** est utilisée pour imiter l'écoulement du beurre lors de l'étalement. Il s'agit de mesurer la poussée d'un piston nécessaire pour extruder le beurre à travers l'orifice d'une buse. La force d'extrusion est bien corrélée avec l'attribut d'étalement (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020).

Les principales propriétés rhéologiques fondamentales d'intérêt dans le beurre, la matière grasse du lait et les mélanges de matière grasse du lait comprennent leurs propriétés élastiques et visqueuses et leur limite d'élasticité. Ces paramètres sont utilisés pour évaluer la texture du beurre comme la fermeté, la dureté et l'aptitude à l'étalement. Les propriétés du réseau de cristaux de graisse peuvent être quantifiées à l'aide d'une analyse rhéologique dans laquelle le module de stockage/élastique (G') et le module de perte/visqueux (G'') ont été utilisés pour déterminer si l'échantillon se comporte comme un solide ou un liquide. Il est démontré que le G' est directement corrélé à la dureté d'un produit (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020). Ces valeurs sont obtenues avec un rhéomètre à petite déformation sur une plage prédéterminée de déformation de cisaillement croissante, de fréquence, de température ou de temps (Mattice, Wright et al. 2020). Dans le beurre et les dérivés de matière grasse laitière, la limite d'élasticité fait référence à la valeur critique au-delà de laquelle le matériau passe de déformations purement élastiques à des déformations plastiques, une mesure de la résistance à la contrainte de cisaillement appliquée.

La température est un facteur clé qui influence la teneur en matière grasse solide et les propriétés rhéologiques du beurre (Vithanage, Grimson et al. 2009). Comme le montre la figure 1, la température dicte la teneur en matière grasse solide, qui a un impact direct sur la dureté du beurre. A la température du réfrigérateur (4°C), le beurre peut être non tartinable tandis qu'à température ambiante il peut présenter un huilage en fonction de la composition en AG de la matière grasse du lait. La température à laquelle le test rhéologique est effectué est critique et doit toujours être la même pour tous les échantillons évalués.

Figure 1 : A. Teneur en matière grasse solide (%) de la matière grasse du lait en fonction de la température. B. Dureté de la matière grasse du lait (kg/m) déterminée par pénétrométrie au cône en fonction de la teneur en matière grasse solide (%). Source : (Wright, Scanlon et al. 2001)



Composition du lait et son influence sur les propriétés rhéologiques du beurre

Impact de la composition chimique (acides gras, triglycérides) de la matière grasse du lait

La matière grasse du lait contient potentiellement des milliers d'espèces différentes de triacylglycérols (TAG), chacune avec son propre point de fusion qui dépend de sa composition en acides gras (AG). Aussi, la distribution de FA sur les différentes positions du TAG modifie les schémas de cristallisation et de liquéfaction de la graisse (Hawke et Taylor 1983). La composition en matières grasses du lait est souvent discutée en termes de trois fractions différentes de TAG, qui sont chimiquement et physiquement distinctes. Ces principales fractions TAG se distinguent par leur comportement en fusion : la fraction à bas point de fusion (LMF) (de -25°C à 10°C), la fraction à point de fusion moyen (MMF) (de 10°C à 19°C) et la fraction à haut point de fusion (HMF) (au-dessus de 20°C) (Mattice, Wright et al. 2020, Waldron, Hoffmann et al. 2020). Le point de fusion global de la matière grasse du lait est d'environ 34 °C (Wright, Scanlon et al. 2001). Le LMF est liquide à température ambiante, en raison de sa teneur substantielle en AG insaturés à chaîne longue et saturés à chaîne courte.

A l'Inverse, parce qu'il fond à des températures supérieures à la température ambiante, résultant de nombreux AG saturés à longue chaîne et d'une teneur beaucoup plus faible en AG insaturés à longue chaîne et saturés à chaîne courte, le MMF est caractérisé par une température de fusion intermédiaire (Mattice, Wright et al. 2020).

Dans la matière grasse du lait, le rapport des TAG à point de fusion élevé aux TAG à fusion moyenne et inférieure est un facteur déterminant important pour la dureté (Mattice, Wright et al. 2020) et il est bien admis que la texture et l'aptitude à l'étalement du beurre sont influencées par les points de fusion des AG.

Les AG du lait, selon leur longueur de chaîne, proviennent de deux sources. Les acides gras à chaîne courte à moyenne (C4:0 à C14:0) sont issus de la synthèse de novo dans les cellules épithéliales de la glande mammaire de la vache. Les acides gras à longue chaîne, quant à eux, proviennent de l'alimentation de la vache. L'acide palmitique (C16:0) peut provenir à la fois de l'alimentation et de la synthèse de novo (Knutsen, Olsen et al. 2018).

La supplémentation en lipides alimentaires spécifiques est un moyen d'améliorer l'équilibre énergétique des vaches et, dans certains cas, peut augmenter la production de matières grasses du lait. Donner des lipides riches en acide palmitique (C16:0) aux vaches en lactation peut influencer la composition en AG des lipides du lait. Chamberlain et al (2016) ont pu augmenter les proportions de C16:0 dans la matière grasse du lait, et une augmentation de la température de fusion a été observée, ce qui a induit des changements dans la dureté du beurre. Cependant, cette expérience pilote a été réalisée avec seulement 12 vaches.

À l'inverse, des concentrations plus faibles d'acide palmitique dans les beurres issus des pâturages entraînent une dureté plus faible du beurre (O'Callaghan, Faulkner et al. 2016, Magan, O'Callaghan et al. 2021). L'augmentation de la proportion d'herbe fraîche dans l'alimentation induit une augmentation linéaire des pourcentages d'AG insaturés au détriment des AG saturés comme l'acide palmitique (Couvreur, Hurtaud et al. 2006).

En Irlande et en Nouvelle-Zélande, l'alternance entre l'ensilage hiver-intérieur et le pâturage d'herbe fraîche été-extérieur a un effet significatif sur la composition en AG. En été (avril-juin), l'augmentation des acides gras insaturés (AUF) tels que les acides oléique (18:1), ω -linoléique (18:3) et palmitoléique (C16:1), et la diminution de l'acide palmitique (C16:0) conduit à un beurre plus mou (dureté de 137 kPa à 4 °C, 37 kPa à 15 °C) par rapport au beurre d'hiver (décembre-février) plus ferme (dureté de 412 kPa à 4 °C, 137 kPa à 15 °C) (Cullinane, Condon et al. 1984). Le beurre a été évalué par un panel sensoriel pour son aptitude à l'étalement et par un analyseur de texture à 5 et 23°C pour la dureté et l'adhésivité.

Les échantillons de lait et de beurre de vaches avec une composition en AG du lait plus insaturés étaient plus tartinables, plus mous et moins adhésifs (Bobe, Hammond et al. 2003).

Comme mentionné, la modification de la composition en AG du beurre en diminuant les proportions d'acides gras saturés 12:0, 14:0, 16:0 et d'acide stéarique (18:0) et en augmentant les proportions d'acides gras insaturés et à chaîne courte améliore son étalement. De tels changements peuvent être obtenus par des technologies de transformation telles que le fractionnement des matières grasses du lait, par la nutrition des vaches ou par la sélection des vaches au sein d'un troupeau ou d'un programme d'élevage. L'alimentation des vaches avec des suppléments riches en AG insaturés tels que l'huile de poisson ou les produits à base de soja a été utilisée par le passé récent comme approches nutritionnelles pour obtenir des beurres moins saturés et plus tartinables (Bobe, Zimmerman et al. 2007).

Impact de la composition macroscopique des graisses (structure cristalline) et de sa capacité de traitement

Cristallisation des graisses

La matière grasse du lait est de nature semi-solide en raison de la présence d'une grande proportion de triacylglycérols à point de fusion élevé (TAG). Ces TAG forment des structures cristallines à température ambiante, résultant en un réseau qui confine les TAG à point de fusion inférieur à l'état liquide à l'intérieur (Mattice, Wright et al. 2020).

Le comportement rhéologique des graisses est régi par les interactions entre les cristaux de graisse dans une matrice solide-liquide tridimensionnelle agrégée. La partie liquide de la graisse, intégrée dans tout le réseau de graisse, sert de phase continue et, conjointement avec la fraction solide, est responsable du comportement viscoélastique. La quantité de graisse cristalline et le type de cristaux (forme polymorphe) présents dans le réseau de cristaux de graisse sont d'une importance primordiale pour le comportement rhéologique de la graisse (Herrera et Hartel 2000).

La cristallisation des graisses implique la nucléation (sites de nucléation initiaux), la croissance cristalline (les conditions présentes déterminent le nombre et la taille des cristaux formés) et les réarrangements cristallins. La température à laquelle une graisse est cristallisée est un déterminant majeur de la cinétique de réaction et de la structure résultante. La vitesse de refroidissement a un impact majeur sur la cristallisation de la matière grasse du lait. Par exemple, lors du refroidissement rapide de la crème, la cristallisation de la graisse se produit plus rapidement et les événements de nucléation prédominent sur la croissance cristalline, ce qui entraîne la formation d'un nombre élevé de petits cristaux. La formation de nombreux petits cristaux augmente la dureté de la graisse du lait, car la plus grande surface permet à une plus grande proportion de graisse liquide d'être absorbée et immobilisée (Mattice, Wright et al. 2020).

Le polymorphisme, d'autre part, survient en raison de l'arrangement géométrique de l'emballage des longues chaînes d'hydrocarbures dans les acides gras. L'agencement d'emballage est caractérisé par le concept de sous-cellule. Les trois principaux arrangements de tassement des sous-cellules dans les graisses, qui définissent une

forme polymorphe, sont α (hexagonal), β' (orthorhombique) et (triclinique), classés par ordre croissant de point de fusion, de densité et de stabilité. Les formes polymorphes ont une influence directe sur le point de fusion d'une matière grasse et ont également été corrélées à des propriétés rhéologiques macroscopiques. La nucléation de la matière grasse du lait se produit généralement sous la forme α métastable (par exemple dans la crème <20 °C) (Waldron, Hoffmann et al. 2020) car ces cristaux nécessitent une énergie d'activation plus faible pour la nucléation. Cette forme instable se transforme rapidement en forme β' au cours du vieillissement. La matière grasse du lait est toujours considérée comme une matière grasse à tendance β' , car les cristaux ont tendance à se transformer en forme β' et restent dans cette conformation même après un stockage prolongé (Mattice, Wright et al. 2020).

Dans la crème, la présence de cristaux de graisse dans les globules de graisse de l'émulsion et un phénomène de coalescence partielle sont nécessaires pour obtenir le produit souhaité et se produisent selon le mécanisme de barattage. Le phénomène de coalescence partielle se produit lorsqu'un cristal présent à l'interface du globule gras pénètre dans la membrane du globule gras du lait et se lie à un autre globule gras. Lorsque la coalescence partielle a commencé, l'huile sera libérée des globules gras, jusqu'à ce que le réseau formé soit imprégné par l'huile (Lopez, Bourgaux et al. 2002). Par la suite, un réseau constitué de globules gras agrégés se formera. Les globules gras conservent la plus grande partie de leur forme d'origine mais sont liés par une connexion semi-solide; par conséquent, le processus est appelé coalescence partielle (Buldo, Kirkensgaard et al. 2013).

La cristallisation se déroule à une vitesse plus rapide lorsque les composants mineurs sont retirés de la matière grasse du lait. Les composants mineurs comprennent les acylglycérols partiels, les acides gras libres (FFA), le cholestérol et les phospholipides (Mattice, Wright et al. 2020).

Taille des globules de matière grasse du lait

La matière grasse du lait est organisée sous forme de gouttelettes lipidiques sphériques dont la taille varie de 0,1 à 10 μ m, avec un diamètre moyen d'environ 4 μ m. Les globules gras du lait peuvent être séparés en petits (moins de 1 μ m), intermédiaires (1-8 μ m) et grands (plus de 8 μ m). Les petits globules gras englobent environ 80 % des globules gras en fonction de leur nombre (Michalski, Briard et al. 2001).

Le noyau de la gouttelette de graisse est composé principalement de triglycérides (98 %) et de plus petites quantités de diglycérides, de monoglycérides et d'esters de cholestérol, et est stabilisé par une membrane biologique externe, la membrane des globules gras du lait (MFGM), composée de lipides polaires, de cholestérol et de protéines (Waldron, Hoffmann et al. 2020).

Cependant, il y a peu d'informations disponibles sur la relation entre la taille des globules, le comportement de cristallisation et la transformabilité/qualité du beurre et le rôle de la taille des globules gras n'a pas été beaucoup exploré. Néanmoins, il a été rapporté que le beurre fabriqué à partir de crème contenant de petits globules gras de lait (MFG) (obtenu à partir de vaches nourries avec de la farine enrichie en acides gras insaturés) avait un temps de barattage plus court, une perte de graisse plus élevée pendant le barattage et une plus grande rétention d'eau. Il était également plus doux, plus tartinable et avait de meilleures propriétés de « sensation en bouche » et de fusion que le beurre témoin. À la même température de mesure et de stockage, les graisses liquides avaient tendance à être plus concentrées dans des globules gras plus petits (Hurtaud, Faucon et al. 2010). Panchal et al. 2021 a également constaté que les globules gras plus petits conduisent à un beurre considérablement plus mou (0,24 μ m contre 3,49 μ m) (Panchal, Truong et al. 2021).

En outre, la diminution de la taille de la graisse des globules du lait (MGF) a entraîné une augmentation de la teneur en humidité du beurre à mesure que la proportion de matière grasse du lait perdue dans le babeurre augmentait, ce qui a entraîné une réduction des valeurs de dureté du beurre et une meilleure tartinabilité (Magan, O'Callaghan et al. 2021). La fraction de petits globules gras du lait obtenue par un procédé de microfiltration s'est également avérée avoir une cristallisation retardée par rapport aux plus grandes (Michalski, Camier et al. 2004). Il a également été rapporté que les globules gras plus petits obtenus par fractionnement par microfiltration ont tendance à être plus huileux ou grasseux (Goudéranche, Fauquant et al. 2000).

Influence des pratiques de collecte du lait sur la composition du lait

Impact du pompage du lait sur la composition en acides gras libres

L'utilisation de systèmes de traite automatique (AMS) dans les fermes laitières peut affecter les niveaux d'acides gras libres (AGL) dans le lait ainsi que la taille des globules gras. L'AMS entraîne une légère augmentation des niveaux d'AGL dans le lait (de Koning, Slaghuis et al. 2003), qui peut être causée par l'augmentation des fréquences de traite. L'entrée d'air dans les gobelets trayeurs, une entrée d'air excessive et un temps de post-fonctionnement trop long de la pompe à lait pourraient également affecter le niveau d'AGL (de Koning, Slaghuis et al. 2003). Une autre explication possible pour une teneur plus élevée en AGL dans le lait de vaches traites plus de deux fois par jour est la taille des globules gras.

Des intervalles de traite plus courts sont associés à des globules gras plus gros qui sont plus sensibles à la lipolyse que les plus petits (Truong, Palmer et al. 2016, De Marchi, Penasa et al. 2017, Simões Filho, Lopes et al. 2020). Comme mentionné dans la section précédente, une plus grande taille de graisse de globule de lait peut contribuer à une augmentation de la dureté du beurre.

La température du lait au pompage influence également la formation des AGL. Les résultats d'une étude menée par Wiking et al. (2005) ont indiqué que le refroidissement instantané du lait cru à 4 °C ou jusqu'à 15 minutes après la traite et avant le pompage réduisait la formation d'AGL. En comparaison, la formation d'AGL a augmenté de manière significative dans le lait pompé à 31°C. Cependant, lorsque le lait était incubé à 4°C pendant 60 min après refroidissement puis soumis à un pompage, une augmentation significative de la formation d'AGL a été observée. Il est suggéré que cette augmentation des AGL est causée par la transition de formes cristallines polymorphes ou un niveau plus élevé de lipoprotéines lipases attachées au globule gras du lait avant le pompage (Wiking, Bertram et al. 2005). Une concentration plus élevée d'AGL est également observée dans le lait déplacé par une pompe tournant à une vitesse plus élevée (tr/min) (Escobar et Bradley Jr 1990).

Impact du temps de stockage du lait

La durée de conservation du lait a un impact sur la lipolyse des TAG. La lipolyse dans le lait découle de deux processus enzymatiques différents. La première est causée par la lipase naturelle du lait sécrétée par le pis de l'animal. L'augmentation de l'activité lipolytique dépend du temps écoulé entre la traite et le traitement thermique (pasteurisation) et de la température de stockage du lait cru avant transformation. La seconde est due à la lipase microbienne, produite par des bactéries psychrotrophes qui peuvent se développer à la température du lait de stockage (4°C). Ces lipases sont thermorésistantes aux températures de pasteurisation et aux traitements UHT. L'augmentation des AGL de l'activité lipolytique, conduit à un goût rance (Antonelli, Curini et al. 2002).

Comme le montre la figure ci-dessous, les AGL commencent à augmenter de manière significative après 3 jours de stockage, et encore plus après 5 jours.

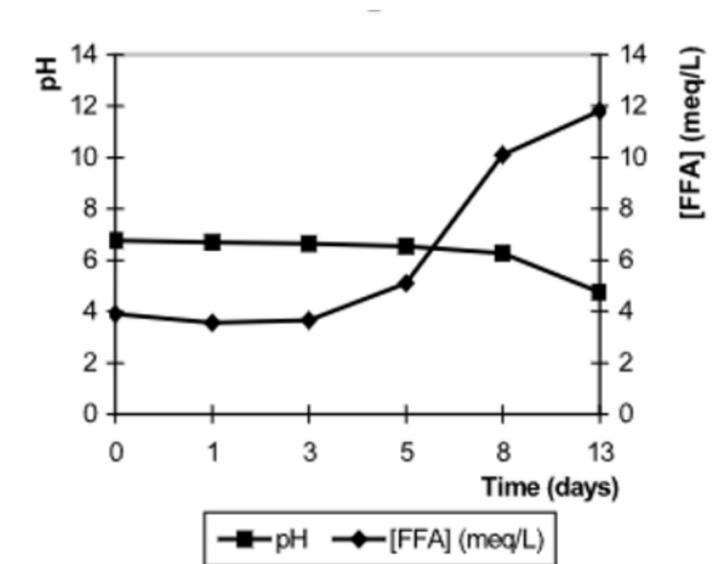


Figure 3 : Variation de la concentration en AGL et du pH, en fonction du temps, dans des échantillons de lait cru. Source : (Antonelli, Curini et al. 2002)

Les AGL font partie des composants mineurs naturels du lait, avec les monoacylglycérols (MAG), les diacylglycérols (DAG) et les phospholipides, et ils peuvent influencer la cristallisation des graisses au stade de la nucléation, la croissance cristalline et le comportement polymorphe. En ce qui concerne la nucléation, il peut s'agir d'une altération du temps de nucléation, d'un changement de température de nucléation ou d'un changement dans le nombre et la nature des noyaux formés (Panchal et Bhandari 2020). Les AGL à chaîne courte et les AGL monoinsaturés ont un effet ralentisseur évident sur la cristallisation, sans affecter le nombre de cristaux formés. Cependant, l'ajout d'acides gras saturés à longue chaîne sous forme de AGL ou de triglycérides accélère la cristallisation (Bayard, Leal-Calderon et al. 2017).

Influence des paramètres de fabrication sur les propriétés rhéologiques du beurre

La production de beurre résulte d'une inversion de phase d'une émulsion huile-dans-eau (crème) à une émulsion eau-dans-huile (beurre) provoquée par la déstabilisation et l'agrégation (coalescence partielle) des globules gras du lait. Certaines conditions de transformation, telles que la vitesse de refroidissement, la température de cristallisation, la vitesse de maturation, ainsi que la matrice physico-chimique des globules de matière grasse du lait et la composition en acides gras de la matière grasse du lait, affectent la cristallisation de la matière grasse du lait et les propriétés rhéologiques de la matière grasse du lait (Ceylan et Ozcan 2020).

Méthodes de fabrication du beurre (régulier, de culture)

Le beurre peut être produit par barattage de crème fraîche (crème douce) ou de crème de culture. Le beurre de crème de culture présente certains avantages par rapport au beurre de crème douce : l'arôme est plus riche ; le rendement en beurre est plus élevé et le risque de réinfection après traitement thermique est plus faible car la culture bactérienne supprime les micro-organismes indésirables (Tetra Pak 2021). Habituellement, une telle crème est pasteurisée à une température plus élevée que la crème douce, puis refroidie à la température de maturation (20 à 27 °C) et inoculée avec des ferments lactiques (1% à 2%) (Fearon 2011).

Une étude a rapporté que le beurre fabriqué à partir de crème inoculé avec *Lactobacillus helveticus* (LH-beurre) était plus mou que le beurre non incubé à température ambiante. Ceci était bien corrélé avec la composition en acides gras. Une proportion plus élevée d'acides gras insaturés totaux (55 %) a été détectée dans le beurre LH par rapport au témoin (36 %). La composition en triacylglycérade (TAG) des produits pourrait être responsable des différences entre la force du réseau du beurre LH et le contrôle (Ewe et Loo 2016). La crème d'affinage additionnée de culture de beurre influence également la cristallisation de la matière grasse du lait. La présence de bactéries lactiques (LAB) dans la microstructure du beurre pourrait avoir affecté l'arrangement cristallin de la graisse, entraînant une fonctionnalité différente entre les deux beurres. En effet, le réseau de cristaux de graisse de LH-beurre pourrait être petit et organisé de manière aléatoire, résultant en un réseau faible et aléatoire qui peut être facilement déformé par des forces externes. D'un autre côté, la matrice cristalline formée lors du processus de cristallisation dans le beurre de contrôle pourrait être hautement ordonnée, donc plus solide, ce qui se traduirait par une aptitude à l'étalement inférieure à celle du beurre LH (Ewe et Loo 2016).

L'augmentation des taux d'acidification et d'agitation favorise la formation de cristaux initiaux plus nombreux et plus petits. En effet, l'agitation peut briser les cristaux déjà formés, qui peuvent agir comme des sites de nucléation favorisant la nucléation secondaire et résultant en un nombre plus élevé de cristaux (Ceylan et Ozcan 2020).

Ingrédients (eau, sel, tensioactifs)

La consistance du beurre peut être ajustée en faisant varier son taux d'humidité car la force du réseau de cristaux de graisse dépend de la taille des gouttelettes d'eau, ce qui peut modifier les points de contact entre les cristaux. L'augmentation de la teneur en eau modifie le rapport entre les phases solide et liquide, de sorte que moins de graisse contribue au réseau de cristaux de graisse (Panchal et Bhandari 2020).

La présence de gouttelettes d'eau a tendance à fragiliser la structure (Mattice, Wright et al. 2020). L'augmentation de la teneur en humidité de 12 % à 15 % confère au beurre une texture plus douce à 5 et 15 °C. Une nouvelle augmentation de la teneur en humidité jusqu'à 35% modifie complètement les propriétés rhéologiques du beurre (Wright, Scanlon et al. 2001).

Il a également été rapporté que l'incorporation d'air dans le beurre réduisait considérablement sa dureté et que la diminution de la dureté était plus importante que l'incorporation d'une quantité similaire d'eau dans le beurre (Panchal et Bhandari 2020). Du sel est ajouté pour la saveur et la conservation du beurre. Il est nécessaire d'utiliser du sel à grains très fins pour éviter une dissolution insuffisante des gros grains de sel qui attireraient l'humidité pendant le stockage (Mortensen 2011).

L'ajout de tensioactifs à la crème ou directement au beurre a également un impact sur la texture du beurre. Par exemple, l'ajout de 1 % de monoglycérides à la crème avant le barattage augmente l'aptitude à l'étalement du beurre de 30 % (Wright, Scanlon et al. 2001).

Étapes de fabrication du beurre

Séparation de crème

La première étape de la fabrication du beurre vise à augmenter la teneur en matière grasse de la crème à environ 40 % en impliquant la centrifugation et la séparation. La séparation du lait en lait écrémé et crème peut provoquer des dommages, entraînant une perte de protéines de surface et déstabilisant le MFGM (Waldron, Hoffmann et al. 2020).

Pasteurisation et refroidissement

Lors de la pasteurisation de la crème, toute la matière grasse devient liquide. La vitesse de refroidissement ultérieure de la crème a une influence majeure sur la cristallisation des graisses en affectant le nombre de sites de nucléation et la taille des cristaux et en influençant par conséquent les propriétés rhéologiques du beurre. Lors d'un refroidissement rapide (forte surfusion), l'équilibre de cristallisation des graisses n'est pas atteint et la nucléation prédomine sur la croissance cristalline. Par conséquent, de nombreux petits cristaux homogènes se forment, principalement de β -polymorphe qui se transforme ensuite en β' -polymorphe. La formation de nombreux

petits cristaux lors d'un refroidissement rapide fournit une surface plus grande facilitant l'adsorption de plus de graisse liquide sur les surfaces des cristaux. En conséquence, moins de graisse liquide reste libre pour former la phase huileuse continue pendant le barattage et le travail, ce qui donne un beurre plus ferme (Wiking, De Graef et al. 2009, Panchal et Bhandari 2020, Tetra Pak 2021). Cependant, il faut veiller à ce qu'il reste suffisamment d'huile liquide pour servir de pont entre les cristaux de graisse solide pour créer des grains de beurre pendant le barattage.

Une étude menée par Ronholt et al. (2014A) a comparé du beurre fabriqué à partir de crème refroidie rapidement (7,5°C/min) et de crème refroidie lentement (0,4°C/min). Le module de conservation (G'), qui est lié à la dureté du produit, était plus élevé pendant les 14 premiers jours de conservation dans le beurre fabriqué à partir de crème refroidie rapidement. Après 21 jours de stockage, aucune différence n'a été observée selon la vitesse de refroidissement de la crème (Rønholt, Kirkensgaard et al. 2014A). Le beurre produit à partir de crème refroidie lentement avait moins de cristaux avec une distribution granulométrique plus large, tandis que le beurre produit à partir de crème refroidie rapidement avait des cristaux plus uniformes (Rønholt, Kirkensgaard et al. 2012).

Maturation de la crème

La maturation, ou affinage de la crème, est l'étape de transformation la plus longue dans la fabrication du beurre (Panchal, Truong et al. 2021). Il s'agit d'une étape importante, car elle régit la cristallisation de la matière grasse du lait dans les globules gras, soit en séparant ou en mélangeant les fractions à point de fusion élevé et bas de la matière grasse du lait, affectant par conséquent la microstructure cristalline et le comportement rhéologique. Ce traitement thermique de la crème influence l'étendue et le taux de coalescence partielle des globules gras du lait (Buldo, Kirkensgaard et al. 2013). Généralement, la crème conservée avant le barattage a plus de graisse liquide libre et une texture plus douce que la crème qui est barattée immédiatement après refroidissement.

Il est courant d'appliquer différentes méthodes de maturation de la crème pour influencer la consistance du beurre (Schäffer, Szakály et al. 2001). Un type d'affinage appelé Alnarp ou méthode froid-chaud-froid (CWC) (par exemple 8/20/14 °C) peut diminuer la dureté du beurre. Au cours du premier refroidissement, de nombreux noyaux cristallins se forment, puis lors du réchauffement, les cristaux de TAG à point de fusion élevé fondent et se recristallisent davantage lors du refroidissement. Il semble qu'avec cette méthode, le beurre produit aura une plus grande quantité de graisse liquide et une dureté réduite jusqu'à 25 % par rapport au beurre produit à partir de crème refroidie directement à une température plus basse (Rønholt, Mortensen et al. 2013). La fonte des cristaux de graisse à point de fusion élevé pendant le processus de réchauffement est responsable de la réduction observée de la dureté (Wright, Scanlon et al. 2001).

Le vieillissement de la crème est un moyen efficace d'influencer et de normaliser la consistance du beurre entre l'hiver et l'été. La crème d'hiver « dure » nécessite un refroidissement à 8 °C pour induire le moins de cristaux possible, avant de chauffer à 20 °C pour faire fondre la phase huileuse en vrac en ne laissant que les cristaux de graisse dure. Cette crème est refroidie à 16 °C où toute graisse cristallisante adhèrera aux cristaux existants. Cela donne un volume plus élevé d'huile liquide libre pour ramollir le beurre résultant (Waldron, Hoffmann et al. 2020).

L'agitation au cours du vieillissement peut également avoir un impact sur la cristallisation des graisses. A température constante (10 °C), des beurres plus durs ont été obtenus lorsque la crème a été vieillie avec une agitation faible (40 tr/min) par rapport à une agitation forte (240 tr/min), ce qui a favorisé une coalescence partielle dans la crème en raison de l'incorporation d'air conduisant à des cristaux de graisse plus gros qui retiendrait moins d'eau (Lee et Martini 2018).

Barattage

L'étape de barattage implique une agitation de la crème, conduisant à une inversion de phase partielle et à une agglomération de la graisse cristalline et des globules gras rompus. Par exemple, la formation de cristaux de graisse est indispensable à la déstabilisation de l'émulsion. Au fur et à mesure que la crème refroidit, des cristaux de graisse se développent et percent l'interface entre deux globules conduisant à une agrégation et à une éventuelle inversion de phase. Ce processus est appelé coalescence partielle car il conduit à la formation de touffes agrégées de forme irrégulière (Lopez, Bourgaux et al. 2002).

Habituellement, un temps de barattage plus long favorise la formation de cristaux plus petits en raison d'une exposition plus longue au cisaillement. Le processus de barattage (classique (batch) ou continu) a un impact majeur sur la consistance du beurre. Dans le processus conventionnel, l'inversion de phase est plutôt lente (30-60 min) tandis que pendant le processus continu, elle se produit en quelques secondes (1-2 s) (Mortensen 2011). Les différences entre le processus de fabrication du beurre conventionnel et continu ont été spécifiquement attribuées à des différences dans le degré de cristallinité de la graisse et dans la morphologie des cristaux de graisse. De plus, en partie à cause des différences d'intégrité structurelle des globules gras, le beurre baratté en continu est généralement plus dur que celui fabriqué par le procédé conventionnel (Panchal et Bhandari 2020).

Alors que le beurre fabriqué de manière conventionnelle est traité mécaniquement après la cristallisation de la graisse, dans le processus continu, la plupart du traitement mécanique a lieu avant la cristallisation. C'est une explication possible pour certaines des différences observées dans les beurres fabriqués par chaque procédé. Les cristaux de graisse dans le beurre fabriqué de manière conventionnelle sont plus gros et de forme plus irrégulière que ceux résultant d'un processus continu (Wright, Scanlon et al. 2001). De plus, la conception de la baratte en continu pourrait également affecter l'efficacité de barattage et la dureté du beurre.

Habituellement, la température de barattage employée est dans une plage de 10 °C à 15 °C. En augmentant la température de barattage de 10 °C à 22 °C, Rønholt, Madsen et al. (2014B) ont constaté que malgré les différences de stabilité cristalline, de teneur en graisse solide et de taille des gouttelettes d'eau, aucun changement significatif n'a été observé dans la microstructure et la dureté ou la fragilité du beurre pendant 28 jours de stockage isotherme. De plus, le polymorphisme cristallin était également similaire car tous les beurres contenaient principalement des cristaux β' avec des traces de polymorphes α et (Rønholt, Madsen et al. 2014B).

Lavage et salage

L'étape de lavage consiste à mélanger les grains de beurre avec de l'eau froide, après quoi l'eau est vidangée. Cela élimine tout babeurre résiduel et les solides du lait. Autrefois, le lavage était fait pour améliorer la qualité du beurre, mais aujourd'hui il n'est fait que pour contrôler la température, si nécessaire (Walstra, Geurts et al. 2006). L'ajout de sel n'a pas d'impact particulier sur les propriétés rhéologiques du beurre. Si les grains de beurre ne sont pas trop gros, leur fermeté peut être affectée dans une certaine mesure par le lavage, via la température de l'eau de lavage.

Travail mécanique

Cette étape, intervenant juste avant le conditionnement, vise à disperser uniformément le sel et l'eau dans la phase huileuse continue du beurre. Le travail du beurre provoque une réduction de sa fermeté en filature car le cisaillement appliqué pendant le travail brise les ponts cristallins au sein du réseau cristallin (Herrera et Hartel 2000), diminuant la dureté à environ un quart de la valeur initiale des matières grasses à tartiner (Heertje, Van Eendenburg et al 1988). Ainsi, le principal effet du travail est de perturber la matrice cristalline de graisse sans modifier la teneur en graisse solide. Le travail intense, cependant, détruit un grand nombre de globules gras résultant en une phase inter-globulaire plus cristalline et par conséquent une consistance plus dure.

Ainsi, pour obtenir un beurre ferme, le conditionnement doit se faire immédiatement après fabrication alors que le beurre est encore très mou (le conditionnement lui-même implique un travail intensif) ; le beurre conditionné peut alors prendre complètement, surtout s'il n'est pas conservé trop froid. S'il est souhaitable de faire du beurre mou à tartiner, la meilleure politique est de laisser d'abord le beurre durcir pendant un temps considérable après fabrication et de l'emballer ensuite (Walstra, Geurts et al. 2006).

La température de mélange est un autre paramètre qui peut être utilisé pour modifier les propriétés rhéologiques du beurre. L'application d'une température élevée lors du mélange des produits à base de matière grasse laitière induit la fusion des fractions de fusion faible et éventuellement moyenne des triglycérides, suivie d'une recristallisation lors du refroidissement et du stockage des produits. Une telle recristallisation reconstruira cependant un réseau cristallin moins dense car une fraction de la matière grasse du lait est solubilisée dans la phase huileuse. Par conséquent, le mélange à haute température donne des produits mous (Buldo et Wiking 2012).

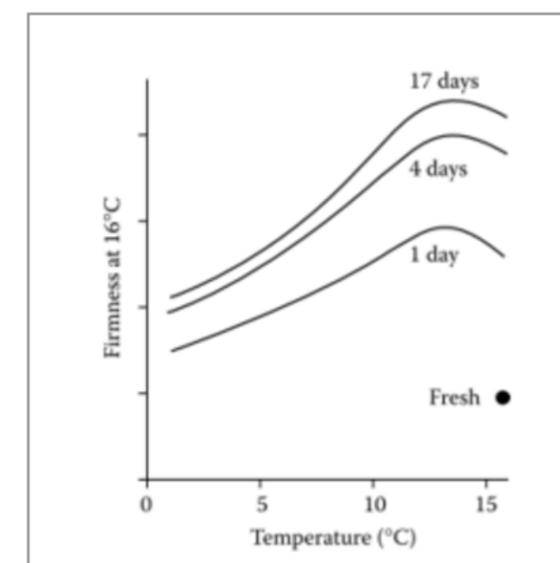
Conditionnement et stockage

Le stockage et la manipulation après fabrication ont un effet considérable sur la dureté du produit (Walstra, Geurts et al. 2006). Le temps et la température de conservation influent sur la prise (post-cristallisation) du beurre. La prise fait référence à l'augmentation de la fermeté au cours du temps de stockage en raison de la cristallisation continue et de l'agrégation des cristaux, ce qui provoque une augmentation des modules viscoélastiques pendant le stockage (Macias-Rodriguez et Marangoni 2020). La prise se produit plus rapidement à une température plus élevée car plus de graisse liquide est disponible (Walstra, Geurts et al. 2006).

Les fluctuations de température pendant le stockage peuvent entraîner des différences dans le comportement rhéologique du beurre. Lorsque la température est temporairement augmentée, une partie des triglycérides fond puis s'adsorbe à la surface des cristaux restants lors du refroidissement, conduisant à des cristaux plus gros. Une croissance cristalline supplémentaire induit de fortes interactions cristal-cristal et une structure plus solide correspondant à une augmentation de la dureté. Il a été démontré que la dureté du beurre augmente de 25 % avec une augmentation temporaire de la température de stockage de 8 à 20 °C, indépendamment de la vitesse de refroidissement de la crème et de la composition en matière grasse (Rønholt, Mortensen et al. 2013).

La durée de conservation a également un effet considérable sur la fermeté, comme le montre la figure 5. La fermeté augmente entre le jour 1 et le jour 17.

Figure 4 : Effet de la température et du temps de conservation sur la fermeté du beurre à 16°C. Source : (Walstra, Geurts et al. 2006)



Les différences initiales de comportement rhéologique entre les échantillons peuvent être dues à des vitesses de refroidissement différentes de la crème (taille et nombre de cristaux différents), à la teneur en eau ou au vieillissement de la crème diminuent pendant le stockage (Rønholt, Kirkensgaard et al. 2012, Rønholt, Kirkensgaard et al. 2014A) en raison de la formation continue de réseaux de cristaux de graisse jusqu'à la teneur critique en graisse solide (Panchal et Bhandari 2020).

Résumé du chapitre

- Cette analyse des connaissances scientifiques a permis d'identifier de nombreux facteurs qui contribuent aux propriétés rhéologiques du beurre. Ces facteurs sont liés soit à la composition du lait, soit aux étapes du processus de fabrication du beurre.
- Certaines étapes de la fabrication du beurre sont connues pour augmenter la dureté du beurre :
 - » Refroidissement de la crème après pasteurisation : une vitesse de refroidissement plus rapide entraîne une augmentation de la dureté du beurre.
 - » Maturation de la crème : un beurre qui est baratté immédiatement après pasteurisation et refroidissement, sans maturation de la crème a moins de matière grasse liquide, d'où une texture plus ferme.
 - » Travail mécanique avant conditionnement : si le beurre est conditionné immédiatement après fabrication, sans ou avec un travail mécanique limité, les interactions cristaux de graisse sont plus fortes, conduisant à une texture plus ferme.
- Une différence dans les conditions de stockage du beurre, par exemple une durée de stockage plus longue avant la consommation de beurre, ou une fluctuation de la température de stockage peut entraîner une augmentation de la dureté du beurre.
- L'utilisation croissante des systèmes de traite automatique peut potentiellement augmenter la dureté du beurre car elle conduit à des globules de graisse plus gros.

Références

- » Antonelli, M., et al. (2002). "Determination of free fatty acids and lipase activity in milk: quality and storage markers." *Talanta*58(3): 561-568.
- » Bayard, M., et al. (2017). "Free fatty acids and their esters modulate isothermal crystallization of anhydrous milk fat." *Food chemistry*218: 22-29.
- » Bobe, G., et al. (2003). "Texture of Butter from Cows with Different Milk Fatty Acid Compositions1." *Journal of Dairy Science*86(10): 3122-3127.
- » Bobe, G., et al. (2007). "Butter Composition and Texture from Cows with Different Milk Fatty Acid Compositions Fed Fish Oil or Roasted Soybeans." *Journal of Dairy Science*90(6): 2596-2603.
- » Buldo, P., et al. (2013). "Crystallization mechanisms in cream during ripening and initial butter churning." *Journal of Dairy Science*96(11): 6782-6791.
- » Buldo, P. and L. Wiking (2012). "The role of mixing temperature on microstructure and rheological properties of butter blends." *Journal of the American Oil Chemists' Society*89(5): 787-795.
- » Ceylan, O. and T. Ozcan (2020). "Effect of the cream cooling temperature and acidification method on the crystallization and textural properties of butter." *LWT*132: 109806.
- » Chamberlain, M. B., et al. (2016). "Feeding lactating Holstein cows a lipid source high in palmitic acid changes the fatty acid composition and thermal properties of lipids in milk and butter." *The Professional Animal Scientist*32(5): 672-680.
- » Couvreur, S., et al. (2006). "The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties." *Journal of Dairy Science*89(6): 1956-1969.
- » Cullinane, N., et al. (1984). "Influence of season and processing parameters on the physical properties of Irish butter." *Irish Journal of Food Science and Technology*: 13-25.
- » de Koning, K., et al. (2003). "Robotic milking and milk quality: effects on bacterial counts, somatic cell counts, freezing point and free fatty acids." *Italian Journal of Animal Science*2(4): 291-299.
- » De Marchi, M., et al. (2017). "Comparison between automatic and conventional milking systems for milk coagulation properties and fatty acid composition in commercial dairy herds." *Italian Journal of Animal Science*16(3): 363-370.
- » Escobar, G. and R. Bradley Jr (1990). "Effect of mechanical treatment on the free fatty acid content of raw milk." *Journal of Dairy Science*73(8): 2054-2060.
- » Ewe, J.-A. and S.-Y. Loo (2016). "Effect of cream fermentation on microbiological, physicochemical and rheological properties of *L. helveticus*-butter." *Food chemistry*201: 29-36.
- » Fearon, A. M. (2011). *Butter and Butter Products. Dairy Ingredients for Food Processing*: 199-223.
- » Frede, E. (2002). *Butter and Other Milk Fat Products | Properties and Analysis. Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. J. W. Fuquay. San Diego, Academic Press: 506-514.
- » Goudédranche, H., et al. (2000). "Fractionation of globular milk fat by membrane microfiltration." *Le Lait*80(1): 93-98.
- » Hawke, J. and M. Taylor (1983). *Influence of nutritional factors on the yield, composition and physical properties of milk fat. Developments in Dairy Chemistry—2*, Springer: 37-81.
- » Heertje, I., et al. (1988). "The effect of processing on some microstructural characteristics of fat spreads." *Food structure*7(2): 9.
- » Herrera, M. and R. Hartel (2000). "Effect of processing conditions on physical properties of a milk fat model system: Rheology." *Journal of the American Oil Chemists' Society*77(11): 1189-1196.
- » Hurtaud, C., et al. (2010). "Linear relationship between increasing amounts of extruded linseed in dairy cow diet and milk fatty acid composition and butter properties." *Journal of Dairy Science*93(4): 1429-1443.
- » International Standards Organization (2005). "ISO 16305:2005 butter – Determination of firmness." from <https://www.iso.org/standard/29865.html>.
- » Juriaanse, A. and I. Heertje (1988). "Microstructure of shortenings, margarine and butter—a review." *Food structure*7(2): 8.
- » Knutsen, T. M., et al. (2018). "Unravelling genetic variation underlying de novo-synthesis of bovine milk fatty acids." *Scientific reports*8(1): 1-13.
- » Lee, J. and S. Martini (2018). "Effect of cream aging temperature and agitation on butter properties." *Journal of Dairy Science*101(9): 7724-7735.
- » Lopez, C., et al. (2002). "Thermal and Structural Behavior of Milk Fat: 3. Influence of Cooling Rate and Droplet Size on Cream Crystallization." *Journal of Colloid and Interface Science*254(1): 64-78.
- » Macias-Rodriguez, B. A. and A. G. Marangoni (2020). *Rheology and Texture of Cream, Milk Fat, Butter and Dairy Fat Spreads. Dairy Fat Products and Functionality: Fundamental Science and Technology*. T. Truong, C. Lopez, B. Bhandari and S. Prakash. Cham, Springer International Publishing: 245-275.
- » Magan, J. B., et al. (2021). "Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
- » Mattice, K. D., et al. (2020). *Crystallization and Rheological Properties of Milk Fat. Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*. P. L. H. McSweeney, P. F. Fox and J. A. O'Mahony. Cham, Springer International Publishing: 219-244.
- » McCarthy, O. J. and M. Wong (2020). *Physical Characterization of Milk Fat and Milk Fat-Based Products. Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*. P. L. H. McSweeney, P. F. Fox and J. A. O'Mahony. Cham, Springer International Publishing: 375-442.
- » Michalski, M.-C., et al. (2001). "Optical parameters of milk fat globules for laser light scattering measurements." *Le Lait*81(6): 787-796.
- » Michalski, M.-C., et al. (2004). "The size of native milk fat globules affects physico-chemical and functional properties of Emmental cheese." *Le Lait*84(4): 343-358.
- » Mortensen, B. K. (2011). *Butter and other milk fat products | The Product and Its Manufacture. Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. J. W. Fuquay. San Diego, Academic Press: 492-499.

- » O'Callaghan, T. F., et al. (2016). "Quality characteristics, chemical composition, and sensory properties of butter from cows on pasture versus indoor feeding systems." *Journal of Dairy Science*99(12): 9441-9460.
- » Palmquist, D. (1991). "Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows." *Journal of Dairy Science*74(4): 1354-1360.
- » Panchal, B. and B. Bhandari (2020). *Butter and Dairy Fat Spreads. Dairy Fat Products and Functionality: Fundamental Science and Technology*. T. Truong, C. Lopez, B. Bhandari and S. Prakash. Cham, Springer International Publishing: 509-532.
- » Panchal, B., et al. (2021). "Influence of fat globule size, emulsifiers, and cream-aging on microstructure and physical properties of butter." *International Dairy Journal*117: 105003.
- » Rønholt, S., et al. (2014A). "Effect of cream cooling rate and water content on butter microstructure during four weeks of storage." *Food Hydrocolloids*34: 169-176.
- » Rønholt, S., et al. (2012). "Polymorphism, microstructure and rheology of butter. Effects of cream heat treatment." *Food chemistry*135(3): 1730-1739.
- » Rønholt, S., et al. (2014B). "Effect of churning temperature on water content, rheology, microstructure and stability of butter during four weeks of storage." *Food structure*2(1-2): 14-26.
- » Rønholt, S., et al. (2013). "The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*12(5): 468-482.
- » Schäffer, B., et al. (2001). "Melting Properties of Butter Fat and The Consistency of Butter. Effect of modification of cream ripening and fatty acid composition." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*64(2): 659-669.
- » Simões Filho, L. M., et al. (2020). "Robotic milking of dairy cows: a review." *Semina: Ciências Agrárias*41(6): 2833-2850.
- » Staniewski, B., et al. (2021). "The effect of triacylglycerol and fatty acid composition on the rheological properties of butter." *International Dairy Journal*114: 104913.
- » Tetra Pak (2021). "Dairy Processing Handbook." from <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/butter-and-dairy-spreads>.
- » Tomaszewska-Gras, J. (2013). "Melting and crystallization DSC profiles of milk fat depending on selected factors." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*113(1): 199-208.
- » Truong, T., et al. (2016). *Effect of milk fat globule size on the physical functionality of dairy products*, Springer.
- » Van Aken, G. and K. Visser (2000). "Firmness and crystallization of milk fat in relation to processing conditions." *Journal of Dairy Science*83(9): 1919-1932.
- » Vélez-Ruiz, J. F., et al. (1997). "Rheological properties of selected dairy products." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*37(4): 311-359.
- » Vithanage, C. R., et al. (2009). "The effect of temperature on the rheology of butter, a spreadable blend and spreads." *Journal of texture studies*40(3): 346-369.
- » Waldron, D. S., et al. (2020). *Role of Milk Fat in Dairy Products. Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*. P. L. H. McSweeney, P. F. Fox and J. A. O'Mahony. Cham, Springer International Publishing: 245-305.
- » Walstra, P., et al. (2006). *Dairy science and technology*. Boca Raton, CRC/Taylor & Francis.
- » Wiking, L., et al. (2005). "Evaluation of cooling strategies for pumping of milk-Impact of fatty acid composition on free fatty acid levels." *The Journal of dairy research*72(4): 476.
- » Wiking, L., et al. (2009). "Relations between crystallisation mechanisms and microstructure of milk fat." *International Dairy Journal*19(8): 424-430.
- » Wright, A., et al. (2001). "Rheological properties of milkfat and butter." *Journal of Food Science*66(8): 1056-1071.

Chapitre 6 : perspectives des transformateurs

Auteur : Mathieu Frigon, MSc, MBA, CPA,CMA

Aperçu

Cinq fabricants de beurre ont été consultés afin de recueillir des informations sur la transformation du beurre, d'identifier les données existantes et d'étudier les facteurs pouvant avoir un impact sur la consistance du beurre. Les paragraphes ci-dessous présentent un résumé de ces consultations.

Disponibilité des données

Aucun des fabricants de beurre consultés n'a systématiquement testé le niveau d'acide palmitique (C16:0) dans la crème utilisée pour fabriquer le beurre ni l'indice d'iode¹ au cours des dernières années. Bien que des tests ponctuels aient pu être effectués par certains, ils ont été réalisés à différentes saisons sur un échantillon limité, ce qui signifie que les résultats ne peuvent pas être comparés dans le temps. Par conséquent, il n'y a pas de séries chronologiques disponibles concernant l'indice d'iode des matières grasses du lait au niveau de la transformation.

Une série de données qu'il a été possible de collecter auprès de quatre fabricants de beurre est le nombre de plaintes des consommateurs concernant la texture du beurre (mou, dur, friable, tartinable, etc.). Le tableau ci-dessous résume ces données. Pour la plupart des fabricants de beurre, les plaintes relatives à la texture du beurre représentent généralement moins de 10 % du nombre total de plaintes au cours d'une année donnée.

Comme on peut le voir sur le graphique ci-haut, il n'y a pas de tendance claire vers un niveau plus élevé de plaintes se rapportant spécifiquement à la texture du beurre (y compris la fermeté) de 2017 à 2020.

Facteurs influant sur les propriétés du beurre

De nombreux facteurs peuvent avoir un impact sur la consistance du beurre en ce qui concerne la transformation. Selon les consultations, le plus important de ces facteurs est le traitement de refroidissement de la crème après la pasteurisation. La crème est soumise à un programme de refroidissement destiné à contrôler la cristallisation de la graisse afin que le beurre obtenu ait la bonne consistance². Tous les autres facteurs restant les mêmes, un traitement de refroidissement plus rapide de la crème pourrait produire un beurre plus dur, tandis qu'un programme de refroidissement plus lent produira un beurre plus mou. En théorie, il est possible d'ajuster le traitement de refroidissement pour tenir compte de l'indice d'iode de la crème. Cependant, comme nous l'avons vu dans la section précédente, l'indice d'iode n'est pas testé, et par conséquent, le programme de refroidissement de la crème tend à être standardisé, quel que soit le profil en gras de la crème. Il convient de noter qu'il y a plusieurs décennies, il existait des différences très importantes dans la composition du lait (y compris l'indice d'iode) entre le « lait d'été » et le « lait d'hiver ». Cette différence était si importante à l'époque que pour garantir un beurre aux propriétés organoleptiques similaires tout au long de l'année, le programme de refroidissement de la crème était probablement différent entre les mois d'été et les mois d'hiver. Cependant, la désaisonnalisation du programme de refroidissement de la crème a probablement été abandonnée étant donné que la différence entre le « lait d'été » et le « lait d'hiver » a largement diminué.

Il convient de noter que le programme de refroidissement de la crème n'est pas un facteur sur lequel les fabricants de beurre ont un contrôle total, car une partie de la crème utilisée pour fabriquer le beurre provient d'autres transformateurs laitiers. Anecdotiquement, il semblerait que la crème provenant d'usines de lait de consommation puisse produire un beurre d'une texture différente de celle de la crème provenant d'usines de fromage.

Un facteur également mentionné comme ayant un impact sur la texture du beurre est la température de barattage. Comme c'est le cas pour le processus de refroidissement de la crème, la température de barattage tend à être normalisée, quel que soit le profil en gras de la crème.

¹ L'indice d'iode, également appelé nombre d'iode, mesure le degré d'insaturation d'un gras, une valeur plus élevée signifiant un niveau plus élevé de gras insaturé par rapport au gras saturé.

² Fabrication de beurre, <https://www.uoguelph.ca/foodscience/book/export/html/1687>

Augmentation de la vitesse de barattage et/ou diminution du temps de barattage

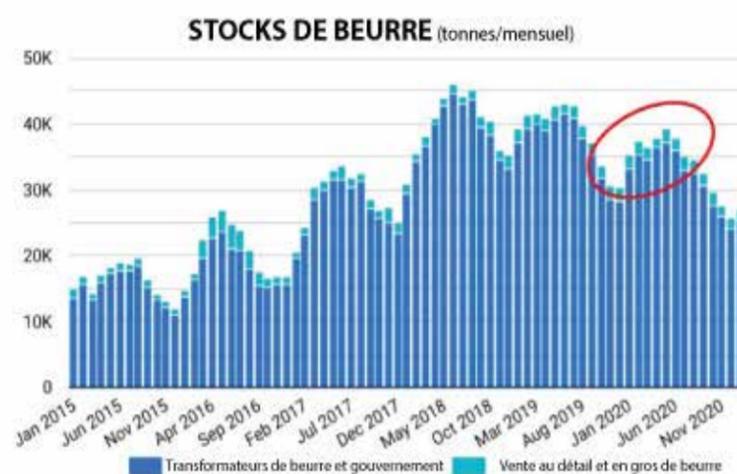
Les médias ont souligné l'année dernière que la forte demande de beurre sur le marché pendant la pandémie peut avoir incité les fabricants de beurre – confrontés à des contraintes de capacité – à augmenter le débit en modifiant leur processus de production, par exemple en modifiant la vitesse et/ou la durée du barattage. Le problème avec cette affirmation est qu'elle ne reconnaît pas l'interconnexion entre le temps de barattage, la vitesse de barattage, la température de barattage, la surproduction de beurre et la teneur en humidité et en matière grasse du beurre. Par exemple, la teneur en matière grasse du beurre ne peut être inférieure à 80 %, conformément au [Règlement sur les aliments et drogues](#). Pour des raisons évidentes de compétitivité des coûts, les fabricants ne veulent pas produire un beurre à 85 % de matière grasse butyrique alors que la réglementation fixe le minimum à 80 %. Par conséquent, ils ont tendance à s'aligner en tout temps le plus possible sur la teneur minimale réglementée de 80 % lorsqu'il s'agit de beurre ordinaire.

L'augmentation de la vitesse de barattage et/ou la réduction de la durée du barattage pourraient avoir des effets indésirables sur la teneur en matière grasse du beurre et en humidité, en plus d'avoir un impact sur la texture du beurre. Par conséquent, on ne se contente pas d'appuyer sur la « pédale d'accélération du barattage » pour répondre à une augmentation de la demande de beurre, car l'augmentation de la production de cette manière entraîne ses propres coûts, y compris une éventuelle dépréciation des stocks si la teneur minimale réglementée en matière grasse du beurre n'est pas respectée.

Plutôt que de modifier la vitesse et/ou la durée du barattage, les variations de la demande de beurre sur le marché (et de la demande de produits laitiers en général) et les changements dans la production laitière ont traditionnellement été gérés dans l'industrie laitière canadienne par la gestion des stocks de beurre, en particulier les stocks gouvernementaux. Depuis plus de 40 ans, la Commission canadienne du lait a mis en place des programmes de stockage du beurre pour aider l'industrie à faire face aux fluctuations de l'offre et de la demande. Il est donc instructif d'examiner comment l'augmentation soudaine de la demande de beurre dans les épiceries

au cours des premiers mois de la pandémie (printemps 2020) a eu un impact sur les stocks de beurre.

Comme on peut le voir sur le prochain graphique, les stocks de beurre ont connu un schéma saisonnier très typique en 2020, avec des stocks en hausse au printemps et en baisse à l'automne. Bien que des conditions de marché très inhabituelles aient prévalu au premier semestre de 2020 pour les produits laitiers avec la fermeture du marché de la restauration, les données sur les stocks ne suggèrent certainement pas que le marché du beurre ait subi des tensions importantes.



Source : Commission canadienne du lait, compilation par l'Association des transformateurs laitiers du Canada.

Résumé du chapitre

- Le processus de fabrication du beurre est généralement normalisé et n'a pas changé sur la base de la composition en acides gras de la crème ni sur la base de l'évolution de la demande du marché.
- Néanmoins, un regain d'intérêt pour la recherche et le développement (R et D) sur le beurre est apparu récemment en raison de la forte demande du marché. D'après les consultations avec les fabricants de beurre et les universitaires, il est évident qu'il existe des domaines émergents de R et D dans la fabrication du beurre qui pourraient être de bon augure pour l'innovation des produits et des processus à l'avenir.



SECTION 4 – TESTS SUR LE BEURRE ET ANALYSE SCIENTIFIQUE

Chapitre 7: Propriétés fonctionnelles et composition en acides gras de beurres canadiens

Auteurs:

- Rachel Gervais, agr., Ph.D.
- Guillaume Brisson, Ph.D.
- Yolaine Lebeuf, M.Sc.
- Avec la collaboration de Micheline Gingras

Mise en contexte

Parallèlement à la revue de littérature, aux présentations des différents experts et des analyses scientifiques, les propriétés fonctionnelles et le profil en acides gras des beurres canadiens ont aussi été examinés par le groupe de travail. Ce chapitre résume les principaux résultats de cette enquête.

Methodologie

Échantillonnage

Des beurres salés de marques de commerce variées ont été achetés dans différentes épiceries de la Colombie-Britannique (n = 7), de l'Alberta (n = 6), de l'Ontario (n = 8), du Québec (n = 11) et de l'Île du Prince-Édouard (n = 8) entre le 15 et le 17 mars 2021, à l'exception d'un échantillon du Québec qui a été acheté le 28 mars de la même année.

Huile de beurre

L'huile de beurre a été obtenue en fondant 10 g de beurre à 70°C pendant 15 min, suivi d'une centrifugation à 3 500 × g pendant 5 min. La couche supérieure a été récupérée à 70°C, transférée dans un microtube et entreposée à -20°C préalablement à l'analyse en calorimétrie différentielle à balayage (DSC, voir plus bas).

Évaluation physique et texturale du beurre

Des thermogrammes de fusion ont été obtenus par DSC (DSC Q1000; TA Instruments Inc., New Castle, DE). L'appareil a été calibré à partir d'un standard d'indium et une cuvette d'aluminium vide. Les échantillons de beurre (10 ± 1 mg) ont été fondus à 70°C, immédiatement transférés dans des cuvettes d'aluminium (TA Instruments Inc.) et scellés hermétiquement. Au moment de l'analyse, les échantillons étaient maintenus à 60°C pendant 15 min afin de s'assurer que tous les cristaux soient complètement fondus, suite à quoi les échantillons ont été refroidis à -60°C au rythme de 5°C/min. Par la suite, la température était maintenue à -60°C pendant 5 min, après quoi la température de l'échantillon était remontée à 60°C, toujours au rythme de 5°C/min, afin d'obtenir le profil de fusion. Le contenu en gras solide était alors calculé en divisant l'aire sous la courbe partielle par l'aire sous la courbe totale entre -20 et 50°C, multiplié par 100 %. Le contenu en gras solide entre -20 et 50°C a été établi selon des intervalles de 1°C et sa concentration à 5, 8, 20, 30 et 35°C est rapportée.

La dureté des échantillons de beurre a été déterminée par pénétrométrie à vitesse constante, laquelle implique la mesure de la force nécessaire pour pousser une sonde conique à une vitesse constante de 1 mm/s jusqu'à 12 mm de profondeur et retirée à la même vitesse. La dureté a été mesurée par un analyseur de texture équipée d'une cellule de charge de 5 kg (TAXT2; Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY) et munie d'une sonde conique de 45° (TA-15). Les échantillons ont été maintenus à 20°C pendant la nuit précédant l'analyse. L'analyse a été réalisée en triplicata. La force de pénétration, ou dureté, est exprimée en newton (N).

Composition en acides gras

Les échantillons de beurre ont été soumis à une extraction lipidique suivi d'une méthylation des acides gras tel que décrit par Rico et al. (2021). La composition en acides gras des beurres a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse (Agilent 7890A; Agilent Technologies Canada Inc.; Mississauga, ON) à l'aide d'une colonne capillaire de 100 m (CP-Sil-88; 0.25 mm i.d., 0.20 mm film thickness; Agilent Technologies Canada Inc.) et d'un détecteur à ionisation de flamme, selon la méthode décrite par Boivin et al. (2012).

Analyse statistique

Des corrélations de Pearson via la procédure CORR de SAS ont été utilisées pour évaluer les relations entre la composition en acides gras du beurre et ses propriétés rhéologiques.

Résultats

Tableau 2. Statistiques descriptives de la composition en acides gras des beurres du commerce canadiens achetés en mars 2021.

ACIDE GRAS	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM	ÉCART TYPE
	G/100 G D'ACIDES GRAS			
4:0	3,50	2,97	4,46	0,51
6:0	2,17	1,74	2,77	0,31
8:0	1,24	0,98	1,51	0,15
10:0	2,77	2,18	3,22	0,27
12:0	3,24	2,61	3,65	0,29
14:0	10,7	9,3	11,8	0,7
14:1 c9	0,95	0,83	1,04	0,06
15:0	1,10	0,98	1,17	0,06
16:0	34,8	32,2	39,1	2,2
16:1 c9	1,59	1,46	1,79	0,10
17:0	0,51	0,44	0,56	0,03
18:0	9,24	8,06	10,40	0,55
18:1 t11	0,90	0,63	1,41	0,17
18:1 c9	16,7	16,0	17,9	0,5
18:1 c11	0,62	0,52	0,75	0,06
18:2 c9c12	1,78	1,59	1,96	0,09
18:3 c9c12c15	0,37	0,30	0,48	0,04
18:2 c9t11	0,37	0,27	0,52	0,06

Tableau 3. Composition en acides gras (moyenne \pm écart-type) des échantillons de beurre selon la province où ils ont été achetés.

ACIDE GRAS	COLOMBIE-BRITANNIQUE	ALBERTA	ONTARIO	QUÉBEC	ILE DU PRINCE-EDOUARD
	G/100 G D'ACIDES GRAS				
4:0	3,55 \pm 0,68	3,58 \pm 0,53	3,75 \pm 0,59	3,41 \pm 0,43	3,27 \pm 0,33
6:0	2,11 \pm 0,37	2,16 \pm 0,36	2,36 \pm 0,34	2,18 \pm 0,28	2,05 \pm 0,19
8:0	1,16 \pm 0,16	1,19 \pm 0,18	1,34 \pm 0,14	1,27 \pm 0,13	1,2 \pm 0,09
10:0	2,53 \pm 0,22	2,58 \pm 0,31	2,98 \pm 0,19	2,88 \pm 0,22	2,75 \pm 0,17
12:0	2,92 \pm 0,17	2,96 \pm 0,27	3,47 \pm 0,12	3,4 \pm 0,22	3,29 \pm 0,19
14:0	9,81 \pm 0,34	9,93 \pm 0,55	11,21 \pm 0,13	11,16 \pm 0,56	11,03 \pm 0,28
14:1 c9	0,87 \pm 0,01	0,88 \pm 0,05	0,98 \pm 0,02	0,99 \pm 0,05	0,97 \pm 0,03
15:0	1,03 \pm 0,02	1,03 \pm 0,05	1,13 \pm 0,03	1,12 \pm 0,04	1,13 \pm 0,04
16:0	37,2 \pm 1,5	36,9 \pm 2,5	33,1 \pm 0,6	34 \pm 1,6	33,8 \pm 1,0
16:1 c9	1,7 \pm 0,07	1,67 \pm 0,11	1,52 \pm 0,02	1,56 \pm 0,08	1,53 \pm 0,03
17:0	0,47 \pm 0,02	0,47 \pm 0,03	0,52 \pm 0,02	0,53 \pm 0,02	0,53 \pm 0,02
18:0	8,73 \pm 0,4	8,85 \pm 0,49	9,35 \pm 0,49	9,33 \pm 0,39	9,73 \pm 0,49
18:1 t11	0,71 \pm 0,08	0,75 \pm 0,11	0,98 \pm 0,09	0,94 \pm 0,1	1,03 \pm 0,21
18:1 c9	16,7 \pm 0,4	16,7 \pm 0,3	16,7 \pm 0,4	16,8 \pm 0,5	16,9 \pm 0,6
18:1 c11	0,7 \pm 0,03	0,66 \pm 0,03	0,58 \pm 0,04	0,58 \pm 0,05	0,59 \pm 0,04
18:2 c9c12	1,84 \pm 0,08	1,82 \pm 0,05	1,78 \pm 0,11	1,75 \pm 0,06	1,72 \pm 0,1
18:3 c9c12c15	0,33 \pm 0,04	0,34 \pm 0,03	0,38 \pm 0,02	0,39 \pm 0,05	0,39 \pm 0,03
18:2 c9t11	0,3 \pm 0,03	0,31 \pm 0,05	0,39 \pm 0,03	0,39 \pm 0,05	0,41 \pm 0,07

Tableau 4. Statistiques descriptives des propriétés fonctionnelles des beurres du commerce canadiens achetés en mars 2021.

PROPRIÉTÉ FONCTIONNELLE	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM	ÉCART TYPE
G/100 G DE GRAS				
CONTENU EN GRAS SOLIDE* À				
5°C	84.8	83.4	85.5	0.46
8°C	78.9	77.1	79.9	0.59
20°C	41.0	39.4	44.1	1.34
30°C	16.0	13.7	20.4	2.02
35°C	3.47	1.59	7.37	1.75
Dureté à 20°C, N**	3.33	1.25	5.23	0.87

» *Déterminé sur l'huile de beurre. Le beurre est une émulsion semi-solide et la teneur en gras solide à une température spécifique détermine ses propriétés rhéologiques telles la dureté et la fluidité.

» *La dureté est déterminée en mesurant la force requise pour permettre à une sonde conique de pénétrer le beurre à une vitesse constante de 1 mm/s sur une profondeur de 12 mm et de se retirer à la même vitesse alors que le beurre est maintenu à la température de la pièce.

Table 5. Functional properties (average \pm standard deviation) of butter samples based on the province of purchase

PROPRIÉTÉ FONCTIONNELLE	COLOMBIE-BRITANNIQUE	ALBERTA	ONTARIO	QUÉBEC	ILE DU PRINCE-EDOUARD
G/100 G DE GRAS					
Contenu en gras solide* à					
5°C	84,5 \pm 0,7	85,0 \pm 0,3	84,7 \pm 0,4	84,9 \pm 0,4	84,7 \pm 0,4
8°C	78,3 \pm 0,8	79,0 \pm 0,3	79,0 \pm 0,5	79,2 \pm 0,5	78,9 \pm 0,5
20°C	42,1 \pm 1,2	42,6 \pm 1,4	40,1 \pm 0,7	40,2 \pm 0,8	40,7 \pm 0,7
30°C	18,2 \pm 1,3	18,3 \pm 2,2	14,5 \pm 0,6	14,9 \pm 1,3	15,3 \pm 0,8
35°C	5,31 \pm 1,11	5,55 \pm 1,91	2,18 \pm 0,45	2,55 \pm 1,20	2,87 \pm 0,60
Dureté à 20°C, N	4,01 \pm 0,64	3,87 \pm 1,30	3,11 \pm 0,62	3,09 \pm 0,82	2,86 \pm 0,49

» *Déterminé sur l'huile de beurre

Tableau 6. Corrélations entre les propriétés fonctionnelles du beurre*

PROPRIÉTÉ	CONTENU EN GRAS SOLIDE					DURETÉ À 20°C, N
	5°C	8°C	20°C	30°C	35°C	
CONTENU EN GRAS SOLIDE À						
5°C	-	0,93**	0,38	0,19	0,18	0,27
		<0,01	0,01	0,25	0,26	0,10
10°C	0,93	-	0,03	-0,17	-0,17	-0,03
	<0,01		0,83	0,30	0,29	0,87
20°C	0,38	0,03	-	0,97	0,96	0,82
	0,01	0,83		<0,01	<0,01	<0,01
30°C	0,19	-0,17	0,97	-	0,99	0,83
	0,25	0,30	<0,01		<0,01	<0,01
35°C	0,18	-0,17	0,96	0,99	-	0,81
	0,26	0,29	<0,01	<0,01		<0,01
Hardness at 20°C, N	0,27	-0,03	0,82	0,83	0,81	-
	0,10	0,87	<0,01	<0,01	<0,01	

» Au sein d'une même cellule, la valeur de r est présentée en haut et la valeur de p en bas.

» **Les corrélations statistiquement positives sont exprimées en vert.

Tableau 7. Corrélations entre les propriétés fonctionnelles du beurre et sa composition en acides gras

ACIDE GRAS	PROPRIÉTÉ FONCTIONNELLE					
	CONTENU EN GRAS SOLIDE					DURETÉ À 20°C, N
	5°C	8°C	20°C	30°C	35°C	
4:0	-0,42**	-0,31	-0,32	-0,24	-0,25	-0,23
	<0,01	0,05	0,04	0,13	0,12	0,15
6:0	-0,36	-0,18	-0,50	-0,45	-0,46	-0,41
	0,02	0,26	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8:0	-0,28	-0,03	-0,67	-0,65	-0,66	-0,57
	0,08	0,85	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
10:0	-0,10	0,20	-0,81	-0,85	-0,86	-0,70
	0,52	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
12:0	0,09	0,41	-0,82	-0,91	-0,91	-0,71
	0,58	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
14:0	0,14	0,46	-0,81	-0,92	-0,92	-0,70
	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
14:1 c9	0,14	0,44	-0,79	-0,88	-0,89	-0,66
	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
15:0	0,14	0,42	-0,67	-0,80	-0,81	-0,61
	0,39	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
16:0	0,18	-0,16	0,91	0,96	0,94	0,85
	0,26	0,32	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
16:1 c9	0,10	-0,23	0,86	0,93	0,92	0,83
	0,54	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
17:0	0,17	0,42	-0,60	-0,71	-0,70	-0,63
	0,29	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18:0	0,09	0,25	-0,39	-0,48	-0,45	-0,44
	0,58	0,11	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18:1 t11	-0,01	0,20	-0,61	-0,67	-0,65	-0,56
	0,93	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18:1 c9	-0,27	-0,21	-0,15	-0,10	-0,04	-0,28
	0,10	0,20	0,35	0,52	0,79	0,08
18:1 c11	-0,30	-0,55	0,60	0,71	0,71	0,55
	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18:2 c9c12	-0,36	-0,42	0,13	0,22	0,24	-0,02
	0,02	<0,01	0,41	0,17	0,13	0,90
18:3 c9c12c15	0,01	0,20	-0,56	-0,62	-0,64	-0,62
	0,96	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18:2 c9t11	-0,08	0,16	-0,67	-0,72	-0,71	-0,64
	0,62	0,32	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

» *Au sein d'une même cellule, la valeur de r est présentée en haut et la valeur de p en bas.

» **Les corrélations statistiquement positives et négatives sont respectivement exprimées en vert et en rouge

Figure 1. Corrélation le contenu en gras solide à 20°C et la concentration en acide palmitique (16:0) du beurre

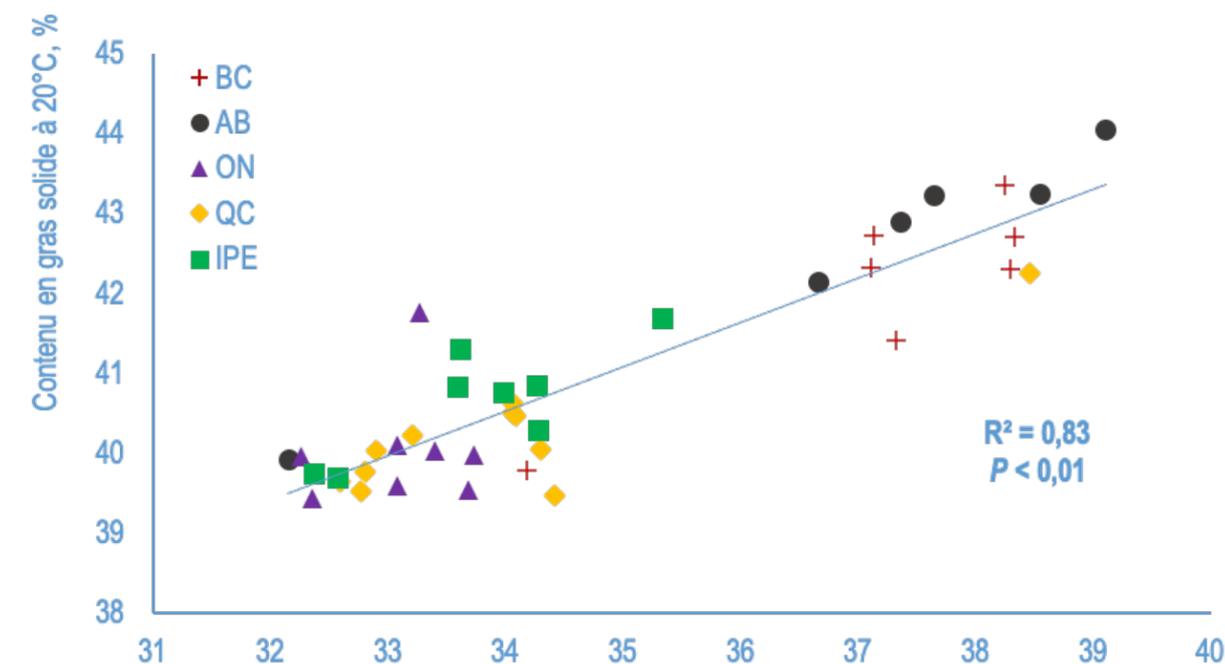
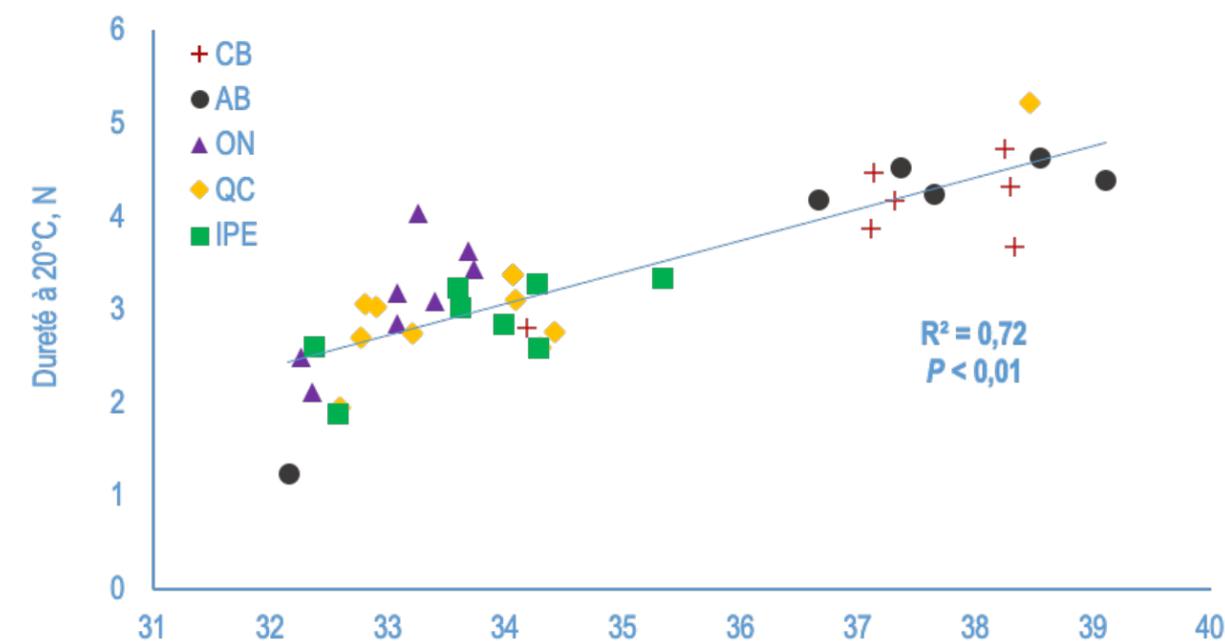


Figure 2. Corrélation entre la dureté à 20°C et la concentration en acide palmitique (16:0) du beurre



Résumé

L'information rapportée ici est strictement descriptive et ne peut être soumise à une analyse statistique appropriée en raison de la nature de l'échantillonnage. Cependant, les résultats de cette enquête fournissent des statistiques descriptives sur les propriétés rhéologiques du beurre commercialisé au Canada et les liens qui peuvent être établis entre celles-ci et la composition en acides gras.

- Une précision importante à considérer est que la composition en acides gras du beurre est rapportée ici en g/100 g d'acides gras. Des comparaisons avec des données de la littérature doivent prendre en considération que la composition en acides gras du lait et des produits laitiers peut être rapportée sous plusieurs unités différentes, soit g/100 g de lait, g/100 g de méthyl esters d'acides gras (FAME), g/100 g de lait et g/100 g de beurre. Pour mieux illustrer les différences entre ces unités, on peut prendre l'exemple d'un beurre qui aurait une concentration en 16:0 estimée à 33,6 g/100 g d'acides gras. La concentration en 16:0 de ce même beurre serait de 33,4 g/100 g de FAME, de 29,6 g/100 g de gras, de 1,22 g/100 mL de lait et de 24,1 g/100 g de beurre. De ces données, on comprend aisément qu'une comparaison valable impose que les concentrations soient exprimées sur une même base.
- La concentration en 16:0 des beurres du commerce au Canada varie entre 32 et 39 g/100 g d'acides gras.
- Cette enquête réitère qu'il existe un lien entre la dureté du beurre et sa composition en acides gras.
- Tel que prédit, basé sur les résultats d'études antérieures (Chamberlain et al., 2016; Enjalbert et al., 2000) et d'une plus récente note technique publiée par Marangoni et Ghazani (2021), considérant le haut point de fusion de l'acide palmitique, sa concentration dans le beurre est positivement corrélée avec son contenu en gras solide à température de la pièce, ainsi que sa dureté. Cependant, cette enquête montre aussi que plusieurs autres acides gras du lait sont associés positivement ou négativement avec le contenu en gras solide du beurre et peuvent également affecter sa dureté.
- Tel que mentionné au chapitre 4, l'assemblage des différents acides gras libres au sein des triacylglycérols du lait a un impact majeur sur la dureté du beurre. Cet aspect n'a pu être investigué dans le cadre de la présente enquête.

Références

- » Boivin, M, R Gervais et PY Chouinard. 2013. Effect of grain and forage fractions of corn silage on milk production and composition in dairy cows. *Animal* 7: 245-254
- » Chamberlain, MB, BC Veltri, SJ Taylor, JW Pareas, R Jimenez-Flores, SO Juchem, G Getachew et EJ DePeters. 2016. Feeding lactating Holstein cows a lipid source high in palmitic acid changes the fatty acid composition and thermal properties of lipids in milk and butter. *Prof. Anim. Sci.* 32: 672-680
- » Enjalbert, F, MC Nicot, C Bayourthe, R Moncoulon. 2000. Effects of duodenal infusions of palmitic, stearic, or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *J. Dairy Sci.* 83: 1428-1433
- » Marangoni, AG et SM Ghazani, 2021. Perspective: A commentary on elevated palmitic acid levels in Canadian butter and their relationship to butter hardness. *J. Dairy Sci.* 104: 9380-9382.
- » Rico, DE, R Gervais, L Schwebel, Y Lebeuf et PY Chouinard. 2021. Production performance and oxidative stability of milk enriched with n-3 fatty acids in Holstein cows fed flaxseed meal. *Can. J. Anim. Sci.* 101: 329-341



SECTION 5 – PRODUCTION MONDIALE D'HUILE DE PALME

Chapitre 8 : l'huile de palme et ses utilisations

Auteur de ce chapitre :

- Jean-François Ménard B. Sc., B. Ing., Analyste principal, CIRAIG-Polytechnique Montréal, expert en analyse du cycle de vie (ACV)

Une introduction à la culture du palmier

L'huile de palme est extraite du mésocarpe du fruit du palmier à huile. Lors de la récolte et de la manipulation des grappes de fruits frais du palmier, des meurtrissures normales se produisent, entraînant un début de dégradation du gras contenu dans le fruit. Une fois que les régimes de fruits frais du palmier sont broyés pour obtenir l'huile de palme brute, ces gras dégradés (acides gras libres oléique, stéarique et palmitique) doivent être éliminés (par distillation, donc les distillats d'acides gras de palme ou PFAD), ainsi que d'autres impuretés (par exemple, des gommes) et des pigments (par exemple, le bêta-carotène, qui donne à l'huile de palme brute sa couleur rougeâtre), pendant le processus de raffinage, afin d'améliorer le goût, l'odeur, la couleur et la durée de conservation de l'huile de palme raffinée, blanchie et désodorisée obtenue (RBDPO) (Neste, 2021).

Pourquoi l'utilisation de l'huile de palme fait-elle débat

Les palmiers à huile poussent le mieux dans les zones tropicales basses et humides, où poussent les forêts tropicales. La majeure partie de l'huile de palme est produite en Malaisie et en Indonésie. À mesure que la demande mondiale d'huile de palme augmente, de plus en plus de forêts tropicales sont rasées pour faire place à des plantations de palmiers à huile, non seulement en Asie du Sud-Est, mais aussi en Afrique et en Amérique latine. Cette expansion a eu un impact négatif sur la biodiversité, notamment sur les espèces en danger critique d'extinction (orangs-outans, éléphants et tigres, par exemple). Elle a également menacé les écosystèmes d'eau douce et provoqué l'érosion des sols et la pollution de l'air. Le brûlage des forêts et des tourbières pour défricher et gérer les terres produit d'importantes quantités de gaz à effet de serre, ce qui favorise les changements climatiques. Enfin, l'expansion s'est aussi souvent faite au détriment des droits et des intérêts des communautés locales et des peuples autochtones.

Utilisation de l'huile de palme au Canada

L'huile de palme est largement utilisée au Canada dans un certain nombre de produits alimentaires préparés et de biens de consommation : biscuits, chocolats, grignotines, barres granolas, produits de boulangerie, margarines, beurre d'arachide, tartinades de noisette bien connues et produits alimentaires végétaliens. Selon Earthsave Canada, l'huile de palme serait présente dans environ 40 % des aliments vendus dans les épiceries canadiennes. Elle est également utilisée dans les savons, les shampooings, les lotions, les aliments pour animaux domestiques et les dentifrices. Selon les données de Statistique Canada (StatCan, 2021), environ 120 000 tonnes d'huile de palme et de palmiste (huile dérivée des graines du fruit), classées par StatCan comme huile brute et ses fractions raffinées mais non modifiées chimiquement, ont été directement importées au Canada en 2020. Cela ne comprend pas l'huile de palme qui entre au Canada indirectement par le biais des produits transformés importés mentionnés précédemment.

Efforts pour rendre la production d'huile de palme plus durable

Compte tenu des préoccupations en matière de durabilité exposées ci-dessus, plusieurs structures ont été mises en place pour encourager le changement et faire de la production durable d'huile de palme une norme. Par exemple, la Table ronde pour l'huile de palme durable (RSPO), créée en 2004 grâce à la collaboration de l'industrie et de la société civile, a élaboré des lignes directrices, mises à jour en 2018, pour la production durable d'huile de palme, en tenant compte de la prospérité (pour un secteur compétitif, résilient et durable), des personnes (pour des moyens de subsistance durables et la réduction de la pauvreté) et de la planète (pour des écosystèmes conservés, protégés et améliorés pour pourvoir aux besoins de la prochaine génération) (RSPO, 2018). La RSPO et d'autres structures de durabilité encouragent les stratégies et les activités visant à encourager le changement du secteur de l'huile de palme de manière durable.

La Table ronde pour l'huile de palme durable (RSPO) dispose de deux systèmes de certification pour garantir, par la transparence et la traçabilité, que

- 1) l'huile de palme est produite de manière durable, et
- 2) l'intégrité du commerce de l'huile de palme durable, c'est-à-dire que l'huile de palme vendue comme huile de palme durable a bien été produite par des plantations et des moulins certifiés.

Ces deux systèmes impliquent des organismes de certification tiers. Ces systèmes de certification rigoureux réduisent considérablement le risque pour les consommateurs d'utiliser une huile de palme qui n'est pas durable (RSPO, 2021a). Quatre niveaux de certification sont proposés aux utilisateurs d'huile de palme, par ordre décroissant d'assurance (et de coût) :

- 1) identité préservée, où l'huile de palme durable provenant d'une seule source certifiée identifiable est conservée séparément de l'huile de palme ordinaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement;
- 2) séparée, où l'huile de palme durable provenant de différentes sources certifiées est conservée séparément de l'huile de palme ordinaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement;
- 3) bilan massique, où l'huile de palme durable provenant de sources certifiées est mélangée à de l'huile de palme ordinaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement; et
- 4) RSPO Credits/Book & Claim, où la chaîne d'approvisionnement n'est pas contrôlée pour la présence d'huile de palme durable, mais où les fabricants et les détaillants peuvent acheter des crédits auprès de cultivateurs, de broyeurs et de petits exploitants indépendants certifiés RSPO.

L'huile de palme certifiée RSPO ne représente actuellement qu'une petite fraction, environ 19 %, de la production totale d'huile de palme (RSPO, 2021b), alors qu'on estime que près de 80 % des raffineurs d'huile de palme sont impliqués dans des structures visant à améliorer la durabilité, en se concentrant sur quatre domaines principaux : conformément à la RSPO pas de déforestation, pas de feu de tourbe, pas d'exploitation (NDPE) (Chain Reaction Research, 2020).

Il est actuellement difficile d'évaluer la capacité de fournir des suppléments de palmite certifiés au secteur laitier canadien. Cependant, les principales entreprises qui approvisionnent le marché canadien des meuneries sont membres de la RSPO ou d'autres programmes similaires, et ont adopté des politiques internes de NDPE conformes à la RSPO (ANAC, 2021). Pour renforcer la confiance des consommateurs canadiens dans la durabilité de l'utilisation continue des suppléments de palmite, ces efforts d'approvisionnement devraient être encouragés et soutenus, ce qui permettrait aux meuneries et aux producteurs laitiers qui utilisent ces suppléments de choisir des produits certifiés RSPO (selon les quatre niveaux possibles mentionnés ci-haut).

Supplémentation des vaches

Ce ne sont pas tous les producteurs laitiers qui utilisent des suppléments de palmite. Lorsqu'ils le font, deux types sont généralement utilisés : les sels de calcium de distillats d'acides gras de palme (PFAD) à faible teneur en acide palmitique et les fractionnements de stéarine de palme à forte teneur en acide palmitique, le second étant davantage utilisé depuis 10 à 15 ans (ANAC, 2021). Le premier type, les PFAD, est un sous-produit du raffinage de l'huile de palme brute et est utilisé comme matière première par de nombreux secteurs industriels, par exemple pour produire des savons et des détergents, du biodiesel et des aliments pour animaux (Neste, 2021).

Bien que l'huile de palme raffinée, blanchie et désodorisée (RBDPO) soit largement utilisée pour la cuisson en Asie, elle peut également être transformée, par fractionnement, hydrogénation, interestérification et glycérolyse, en une large gamme de produits utilisés dans les secteurs de l'alimentation, des cosmétiques, des produits de soins personnels et des aliments pour animaux de ferme. Par fractionnement, le RBDPO peut être divisé en fractions oléine (liquide) et stéarine (solide) (GreenPalm). Le produit le plus important obtenu à partir de la stéarine de palme est l'acide stéarique triple pression et les acides gras des matières premières de savon. Les fractionnés à haute teneur en acide palmitique, le deuxième type de produit disponible pour les vaches laitières depuis 10 à 15 ans, sont un sous-produit des acides gras de la matière première du savon (Green & Natural Industries, 2021).

Les suppléments de palmite sont donc essentiellement des sous-produits du raffinage et de la transformation de l'huile de palme brute, comme la sciure est un sous-produit de la production de bois. Tout comme la demande de sciure n'est pas la raison pour laquelle les arbres sont abattus, la demande pour ces suppléments n'est pas le moteur de la production d'huile de palme.

Aucune donnée n'est disponible pour la production mondiale d'huile de palme en 2020, les plus récentes sont celles de 2018 avec environ 79 millions de tonnes d'huile de palme et de palmiste produites (FAOSTAT, 2021). Environ 35 000 tonnes de suppléments à haute teneur en acide palmitique ont été importées au Canada par le secteur laitier en 2020 (ANAC, 2021). Ceux-ci ne sont pas inclus dans la ligne tarifaire/code des importations d'« huile de palme » rapportée par Statistique Canada mais sont plutôt classés sous le code tarifaire des aliments pour animaux. Ces importations représentent moins de 0,1 % de la production mondiale de l'huile de palme et de palmiste. Il est donc raisonnable de penser, que les producteurs laitiers canadiens cessent ou non d'utiliser des suppléments de palmite, cela n'aurait aucun effet sur la production mondiale d'huile de palme.

Pour les producteurs laitiers qui utilisent des suppléments de palmite, il n'est pas certain qu'ils contribuent de manière significative à l'empreinte environnementale du lait.

Une analyse du cycle de vie a été réalisée en 2018 pour les Producteurs laitiers du Canada par le Groupe AGÉCO (PLC, 2018), à partir des données de 2016. Elle a montré qu'entre 2011 et 2016, l'empreinte carbone du lait a diminué de 7,3 %, principalement en raison de l'augmentation de la productivité (la quantité de lait produite par une vache a augmenté de 12,8 %).

Au cours de la même période de cinq ans, de meilleures pratiques agricoles permettant d'accroître la productivité ont été plus largement adoptées. Ces pratiques comprennent l'optimisation de la formulation des rations et de l'alimentation, l'amélioration de la gestion des fourrages et de la qualité des aliments, la vidange plus fréquente du stockage du fumier, le compostage du fumier, la réduction du travail conventionnel du sol, la rotation diversifiée des cultures et l'utilisation de technologies d'agriculture de précision.

Cependant, au moment de l'ACV, la meilleure estimation de l'utilisation à la ferme des lipides de palmite représentait environ 0,14 % de tous les aliments animaux utilisés. À ce niveau, leur contribution n'a pas été considérée comme importante dans le cadre de l'évaluation de l'ACV.

Résumé du chapitre

- L'huile de palme est extraite du mésocarpe du fruit des palmiers à huile. Elle est utilisée dans le monde entier comme huile de cuisson, comme additif dans la fabrication de produits alimentaires et dans divers produits industriels et de consommation emballés.
- Environ 35 000 tonnes de suppléments de palmitate à haute teneur en acide palmitique ont été importées au Canada en 2020. Cela représente moins de 0,1 % de la production mondiale d'huile de palme et de palmitate.
- Les suppléments de palmitate qui sont utilisés par les producteurs laitiers canadiens (ce ne sont pas tous les producteurs qui les utilisent) sont dérivés de sous-produits de l'huile de palme et ne sont donc pas des moteurs de la production mondiale de palme.
- Les suppléments de palmitate représentent une petite part de toute l'huile de palme utilisée dans les produits consommés au Canada.
- Encourager les efforts pour améliorer la durabilité et s'approvisionner en produits certifiés RSPO lorsque cela est possible sont quelques-uns des efforts en cours au Canada et à l'étranger pour rendre la production, la transformation et l'utilisation de l'huile de palme plus durables.

Références

- » Neste (2021), PFAD residue from palm oil refining, <https://www.neste.com/products/all-products/raw-materials/pfad-residue-palm-oilrefining#:~:text=Although%20linked%20through%20supply%20chains%2C%20palm%20oil%20and,meets%20the%20EU%20RED%20definition%20of%20%22processing%20residues%22%3A>, consulté le 22-08-2021
- » RSPO (2018), Principles and Criteria for the Production of Sustainable Palm Oil, <https://www.rspo.org/resources/archive/1079>, consulté le 21-09-2021
- » RSPO (2021a), RSPO Supply Chains, <https://www.rspo.org/certification/supply-chains>, consulté le 21-09-2021
- » RSPO (2021b), The Impact of RSPO, <https://rspo.org/impact#certification-figures>, consulté le 21-09-2021
- » ANAC (2021), communication personnelle de Melissa Dumont, directrice générale de l'Association de nutrition animale du Canada (ANAC)
- » Statistique Canada (2021), Base de données sur le commerce international canadien de marchandises, [Commerces international canadien de marchandises \(CICM\) : Statistique Canada \(statcan.gc.ca\)](https://www150.commerce.gc.ca/commerce-international-canadien-de-marchandises), consulté le 22-08-2021
- » Green & Natural Industries (2021), communication personnelle de Adrian Ding, directeur général de Green & Natural Industries Sdn Bhd, Malaisie
- » FAOSTAT (2021), Cultures et produits animaux, <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>, consulté le 22-08-2021

SECTION 6 – LES RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL D'EXPERTS À L'INTENTION DU SECTEUR LAITIER

Après un examen minutieux de la littérature scientifique existante, de nouveaux tests et des consultations avec divers experts industriels et universitaires, le groupe de travail d'experts a conclu qu'il existe des lacunes dans le corpus de connaissances qui doivent être comblées. Ces recommandations aideront le secteur laitier à mieux comprendre les questions liées aux caractéristiques du beurre tout en veillant à ce que l'industrie soit mieux équipée pour répondre aux attentes des consommateurs.

Veillez noter que les recommandations suivantes ne sont pas présentées dans un ordre particulier et qu'elles ont été approuvées par tous les membres du groupe de travail d'experts.

1. Dans l'intérêt de la science et du progrès, il faut continuer de tester au fil du temps et dans toutes les régions, tant pour le lait que pour le beurre, pour comprendre le profil des acides gras, en plus de tester la fermeté du beurre sur les tablettes d'épicerie, et ce, de façon uniforme.
2. L'innovation et les progrès technologiques du secteur laitier continuent d'évoluer rapidement, notamment en ce qui concerne la R et D en matière de transformation et ses procédés. Les tests ci-dessus contribueront à faciliter l'innovation en matière de produits et de procédés ainsi qu'une plus grande collaboration entre les producteurs, les transformateurs et le monde universitaire. Plus important encore, les consommateurs bénéficieront inévitablement d'un secteur qui travaille ensemble pour améliorer et adopter des pratiques qui soutiennent l'innovation, la durabilité, la santé et la qualité.
3. Il existe des méthodes scientifiques pour déterminer la fermeté du beurre, mais les connaissances scientifiques pour comprendre les seuils de perception des consommateurs sont rares. Nous recommandons d'entreprendre des recherches pour mieux comprendre comment les consommateurs perçoivent les différences de texture des produits laitiers, comme la fermeté du beurre.
4. Nous comprenons qu'actuellement, il y a très peu de suppléments de palmitate certifiés que le secteur laitier pourrait utiliser, mais que les principales meuneries canadiennes s'approvisionnent auprès d'entreprises qui sont membres de la Table ronde pour l'huile de palme durable (RSPO) ou qui ont adopté des politiques internes conformes à la RSPO – pas de déforestation, pas de feu de tourbe, pas d'exploitation (NDPE) (ANAC, 2021). Les efforts en faveur d'un approvisionnement éthique et de l'amélioration du secteur de la production d'huile de palme doivent être encouragés et soutenus.
5. Toute nouvelle étude d'analyse du cycle de vie (ACV) sur l'empreinte environnementale du lait de vache devrait recueillir des données pertinentes et représentatives sur les pratiques d'alimentation actuelles et nouvelles. Cela permettra de comprendre l'impact de diverses stratégies d'alimentation, y compris l'utilisation de lipides ou d'autres suppléments aux principales cultures utilisées dans les aliments pour animaux, et de comprendre s'il existe des différences sur l'empreinte environnementale du lait.
6. L'industrie devrait rester en contact étroit avec les groupes de consommateurs afin de mieux comprendre les préférences des consommateurs ainsi que leurs préoccupations potentielles. En fin de compte, fournir des produits que les consommateurs veulent et attendent est un aspect essentiel pour garantir que les Canadiens ont confiance dans les produits qu'ils achètent et consomment.

ANNEXE 2 – RÉSUMÉ DES INFORMATIONS OFFERTES PAR DES EXPERTS EXTERNES AU GROUPE DE TRAVAIL D'EXPERTS

- Melissa Dumont, Association de nutrition animale du Canada (ANAC)
 - » Aperçu de la diète des vaches selon les régions
 - » Pourquoi les experts en nutrition bovine recommandent-ils une supplémentation en lipides
- Dr Alejandro Marangoni (University of Guelph)
 - » Présentation des données obtenues par des tests sur le beurre
 - » Discussion sur une multitude de facteurs qui ont un effet sur la composition en acides gras du lait
- David Svab et David Johnson, Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA)
 - » Ont présenté le processus que suit l'ACIA au moment d'approuver les aliments pour animaux, y compris les suppléments
- D'autres experts avec qui des membres du groupe ont eu des discussions :
 - » Dr Jeremy Hill et Sharon Mitchell, Fonterra (Nouvelle-Zélande)
 - » Tom Wright, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO)
 - » Wil Meulenbroeks, président, LTO Dairy Farming Committee, M. Aebe Aalberts, spécialiste du secteur de l'élevage laitier et secrétaire du LTO Dairy Farming Committee (Pays-Bas)
 - » Dr Jamie Jonker and Miquela Haselman, National Milk Producers Federation (É. U.)

ANNEXE 3 – MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL D'EXPERTS ET BIOGRAPHIES

Le groupe de travail comprend d'éminents universitaires et experts de partout au Canada, qui possèdent une expertise diversifiée. Tous sont reconnus comme des chefs de file dans leurs domaines, avec des spécialisations comme la nutrition de bovins laitiers, la santé animale, la durabilité, la science alimentaire et la nutrition humaine. Le point de vue des consommateurs est pris en compte avec la participation de l'Association des consommateurs du Canada. Le groupe comprend également des transformateurs laitiers et des experts en production laitière.

Président du groupe de travail d'experts

Daniel Lefebvre, Ph. D., PAS, Dipl. ACAN, agr., Chief Operations Officer, Lactanet

Ayant grandi sur une ferme laitière en Montérégie, au Québec, Daniel tire une grande fierté de l'héritage familial qui a suscité sa passion pour la production laitière. Il a fait ses études en sciences animales à l'Université McGill où il a obtenu son diplôme en 1989. Membre de l'ordre des agronomes du Québec, Daniel obtient en 1998 un doctorat en nutrition et en physiologie de la vache laitière, toujours à McGill. Daniel est chef de l'exploitation pour Lactanet et directeur du Centre d'expertise en production laitière. Il œuvre au sein de l'organisation depuis 1993, d'abord comme spécialiste en nutrition des bovins laitiers, puis comme directeur de la recherche et développement. Il est certifié par l'American Registry of Professional Animal Scientists et par l'American College of Animal Nutrition. La Société canadienne de zootechnie lui a décerné le Prix des industries animales pour la vulgarisation scientifique et le service au public, en 2009 et 2018. Daniel est président de l'ICAR (International Committee for Animal Recording.)

Anthony Hanley, PhD

Professeur, Département des sciences de la nutrition, Université de Toronto

M. Hanley est titulaire d'un doctorat en épidémiologie et possède une expertise des facteurs nutritionnels et métaboliques liés à la progression du diabète de type 2 et de ses caractéristiques physiologiques sous-jacentes, y compris l'obésité, la résistance à l'insuline et le dysfonctionnement des cellules bêta pancréatiques.

Il étudie également les personnes à risque élevé qui développent un syndrome métabolique — un regroupement de facteurs de risque à la fois pour le diabète, les maladies cardiaques et les accidents vasculaires cérébraux, y compris des taux anormaux de lipides sanguins, une tension artérielle accrue, un excès de gras autour de la taille et un taux élevé de glycémie à jeun.

Ses recherches ont été soutenues par les Instituts de recherche en santé du Canada, l'Association canadienne du diabète, les Producteurs laitiers du Canada et le Banting and Best Diabetes Centre de l'Université de Toronto. M. Hanley est aussi membre du consultatif scientifique d'experts en nutrition des Producteurs laitiers du Canada.

Richard Bazinet, PhD

Professeur, Département des sciences de la nutrition, Université de Toronto

Le Dr Bazinet est un expert du métabolisme lipidique et titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur le lipide et le métabolisme du cerveau. Il était président de l'International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids (ISSFAL) jusqu'au 31 mars 2021. Ses recherches portent notamment sur le rôle des gras dans la santé humaine, particulièrement en ce qui concerne la santé du cerveau et les maladies. Il étudie également le rôle de certains acides gras dans le développement du diabète et ses résultats métaboliques connexes. De plus, il a étudié les différents profils lipidiques du bœuf et du lait « nourri à l'herbe » et du lait et du bœuf conventionnels.

Ses recherches ont été appuyées par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, les Instituts de recherche en santé du Canada, Bunge Ltd, Arctic Nutrition, les Producteurs laitiers du Canada et Nestlé inc. et ont fourni des analyses sur les acides gras aux producteurs, aux fabricants d'aliments et à d'autres intervenants de l'industrie alimentaire.

David Kelton, DVM, PhD

Professeur, Département de médecine des populations, Université de Guelph

M. Kelton est épidémiologiste vétérinaire et titulaire de la chaire de recherche sur la santé des bovins laitiers de Dairy Farmers of Ontario au Département de médecine des populations. Il travaille en étroite collaboration avec les producteurs laitiers et les vétérinaires depuis plus de 25 ans à l'élaboration de projets de recherche sur le terrain qui font progresser des questions pratiques qui préoccupent l'industrie laitière canadienne en ce qui a trait à la qualité du lait à la ferme, la santé et le bien-être animal, et le contrôle des maladies infectieuses.

La recherche du Dr Kelton est appuyée par le CRSNG, Agriculture et Agroalimentaire Canada, le ministère de l'agriculture, alimentation et affaires rurales de l'Ontario, les PLC, les Dairy Farmers of Ontario et le Ontario Research Excellence Fund.

Rachel Gervais, Ph.D., agr.

Professeur, Département des Sciences animales, Université Laval

Rachel Gervais a réalisé ses études de doctorat en sciences animales à l'Université Laval, et ses études postdoctorales à l'Université de Gand en Belgique. Elle est maintenant professeure au département des sciences animales de l'Université Laval. Les intérêts de recherche de Mme Gervais portent sur les effets de l'alimentation et la nutrition des vaches laitières sur la composition et les propriétés du lait, les mécanismes de synthèse et de sécrétion des acides gras du lait chez la vache, et le potentiel de l'utilisation des acides gras du lait comme outil diagnostique.

Elle participe au Centre de recherche en sciences et technologie du lait (STELA) et est membre du regroupement Op+lait pour un lait de qualité optimale.

Ses projets de recherche sont appuyés par le MAPAQ, Novalait, le Consortium de recherche et innovations en bioprocédés industriels au Québec et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.

Yves Pouliot, PhD

Professeur titulaire, Département des Sciences des aliments, Université Laval

En tant que membre du Centre de recherche laitière STELA, M. Pouliot a développé une expertise de recherche sur la transformation du lait et des ingrédients laitiers, plus particulièrement sur les processus de séparation membranaire. Il a récemment été président de la chaire de recherche industrielle CRSNG-Novalait sur l'efficacité des procédés dans la technologie laitière. Il a également dirigé de nombreux projets de collaboration impliquant différents transformateurs de l'industrie laitière canadienne, Novalait inc., et les Producteurs laitiers du Canada.

Jean-François Ménard B.Sc., B.Ing.

Analyste principal, CIRAIG, expert en Analyse du cycle de vie (ACV)

M. Ménard pratique l'analyse du cycle de vie depuis 2002. Il a réalisé plusieurs ACV dans des domaines divers pour les secteurs privé et public. En tant qu'expert en ACV, il supervise ou participe à la réalisation de plusieurs projets et effectue des revues critiques sur des ACV réalisées par des tiers.

Elaine Scott M.Sc., M.Admin.

Association des consommateurs du Canada

Mme Scott siège au Comité canadien de gestion des approvisionnements de lait au nom de l'Association des consommateurs du Canada. Elle est titulaire d'une maîtrise ès sciences en nutrition humaine de l'Université de la Colombie-Britannique et d'une maîtrise en administration de l'Université de Regina. Elle a occupé des postes de direction au gouvernement du Canada et au gouvernement de la Saskatchewan, notamment celui de nutritionniste provinciale pour le gouvernement de la Saskatchewan.

Mathieu Frigon, MSc, MBA, CPA, CMA

Association des transformateurs laitiers du Canada (ATLC)

M. Frigon est titulaire d'une maîtrise en économie agricole de l'Université Laval et possède plus de 10 ans d'expérience dans l'industrie laitière. Mathieu est également comptable agréé et titulaire d'un MBA. Mathieu est président et chef de la direction de l'ATLC depuis 2018.

Ed Friesen

An cien membre du conseil d'administration, Producteurs laitiers du Canada, Lactanet

Il a été administrateur du service de gestion des troupeaux laitiers au cours des 13 dernières années, dont neuf à titre de président. Il est actuellement administrateur (Membre externe) pour Lactanet et il a représenté Lactanet au conseil d'administration des Producteurs laitiers du Canada jusqu'en juillet 2021. M. Friesen vient de terminer plusieurs années de service au conseil d'administration des Producteurs laitiers du Manitoba. Il a été membre de Eastern Holstein Club pendant 11 ans dont 4 ans à titre de président.

Bit a Farhang, Ph.D.

Gestionnaire de la recherche et du développement aux Dairy Farmers of Ontario (DFO)

Mme Farhang procure son expertise aux programmes provinciaux et nationaux liés à la recherche, aux programmes de développement de marchés et de produits novateurs, y compris les marchés à créneaux, ainsi qu'à la nutrition et à la durabilité.

Mme Farhang est titulaire d'un doctorat en sciences alimentaires de l'Université de Guelph, et possède plus de 10 ans d'expérience dans l'industrie laitière, ainsi qu'une vaste expérience scientifique et technique de la science laitière et de la fabrication de produits laitiers. Elle est membre des comités permanents de nutrition et de marketing de la FIL (Fédération internationale de laiterie) et du conseil d'administration de la FIL-IDF Canada.

Woody Siemens, P. Ag., B.Sc., MBA

BC Milk Marketing Board

M. Siemens gère les principales fonctions de transport, de qualité du lait, de bien-être animal et de développement des marchés du BCMMB (BC Milk Marketing Board); il travaille en étroite collaboration avec l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement laitière, de la ferme au transformateur, et la plupart des étapes entre les deux. L'expérience de carrière de M. Siemens comprend un éventail de secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, du soutien à l'alimentation et à la nutrition jusqu'à la chaîne d'approvisionnement au sein de PepsiCo Canada. Son expérience est appuyée par un baccalauréat ès sciences en nutrition et santé, un titre professionnel d'agronome et une maîtrise en administration des affaires (MBA) à l'Université de Guelph, se spécialisant dans l'Alimentation et l'Agrobusiness.

Chantal Fleury, agr

Directrice adjointe Recherche économique — agronomique, Producteurs de lait du Québec

Après avoir grandi sur une ferme laitière au Centre-du-Québec, Mme Fleury a complété un baccalauréat en sciences animales de l'Université McGill. Elle a, par la suite, travaillé six ans pour le Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ) à titre de responsable du développement des services. Elle travaille pour les Producteurs de lait du Québec depuis 2013 à titre de conseillère en agronomie et depuis tout récemment, à titre de directrice adjointe de la recherche économique.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL D'EXPERTS