

---

# **Stratégies alimentaires pour optimiser les teneurs des composants du lait et la production des chèvres laitières recevant de hauts niveaux de concentrés**

---

## **Rapport final (Projet 16-3-27)**

Rédigé par :

**Stéphanie Dion, étudiante, Université Laval**

**Janie Lévesque, agr., M.Sc., CRSAD**

En collaboration avec :

**Johanne Vary, agr., MAPAQ**

**Daniel Rico, Ph.D., CRSAD**

**Rachel Gervais, agr. Ph.D., Université Laval**

**Yvan Chouinard, agr. Ph.D., Université Laval**

1<sup>er</sup> mars 2018

**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**

**Québec** 



**UNIVERSITÉ  
LAVAL**

## **ÉQUIPE DE RÉALISATION**

Responsables scientifiques et répondants du projet : Janie Lévesque, chargée de projets et Yan Martel-Kennes, directeur scientifique, CRSAD et Yvan Chouinard, chercheur, Université Laval

Étudiante stagiaire : Stéphanie Dion, Université Laval

Ouvriers agricoles : Luc Gignac, Paul Montambault et Michaël Benoit, CRSAD

Autres professionnels impliqués : Marie-Ève Brassard, doctorante, Rachel Gervais et Daniel Rico, chercheurs, Université Laval ; Pierre Ruel, ingénieur, CRSAD ; Johanne Vary, conseillère, MAPAQ

## **PARTENAIRES FINANCIERS ET COLLABORATEURS**

Programme de développement sectoriel, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD)

Université Laval

Directions régionales du Centre-du-Québec, MAPAQ

## **SITE EXPÉRIMENTAL**

Centre de recherche en sciences animales de Deschambault

## **REMERCIEMENTS**

Des remerciements sont attribués aux partenaires et collaborateurs, mais également à ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la présente étude :

Mme Stéphanie Béliveau, La Société des Éleveurs de Chèvres Laitières de Race du Québec (SECLRQ)

Mme Sylvie Martel, Syndicat des producteurs de chèvres du Québec (SPCQ)

M. Éric Gagnon, Saputo

M. Daniel Lefebvre, Valacta

Mmes Micheline Gingras, technicienne de laboratoire et Yolaine Lebeuf, professionnelle de recherche, Université Laval

# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	1
1.1 Objectif du projet .....	2
2 Matériel et méthodes.....	2
2.1 Traitements et dispositif expérimental .....	2
2.2 Mesures, échantillonnages et analyses .....	6
2.2.1 Poids et prise alimentaire.....	6
2.2.2 Production laitière et composants du lait.....	6
2.2.3 Profil en acides gras du lait .....	7
2.2.4 Acides gras volatils et pH ruminal .....	7
2.2.5 Analyse statistique.....	8
3 Résultats et discussion .....	9
3.1 Poids, prise alimentaire et production laitière .....	9
3.2 Composants du lait.....	9
3.3 Profil en acides gras du lait .....	14
3.3.1 Intermédiaires de la biohydrogénation .....	14
3.3.2 Acide gras de novo, C16 et préformés.....	18
3.3.3 Acides gras polyinsaturés $\omega$ -6 et $\omega$ -3 .....	20
3.4 Paramètres ruminiaux .....	23
3.5 Résultats technico-économiques.....	24
CONCLUSION .....	26
RÉFÉRENCES.....	27

# LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1 : Composition des rations totales mélangées offertes durant les périodes préexpérimentale et expérimentale. ....	4
Tableau 2 : Composition nutritionnelle des rations totales mélangées en période d'adaptation et d'expérimentation. ....	5
Tableau 3 : Poids, prise alimentaire, production laitière et composants du lait de chèvre recevant des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	10
Tableau 4 : Profil en acides gras du lait de chèvre recevant des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	16
Tableau 5 : Ingestion, sécrétion et efficacité de transfert de l'alimentation vers le lait des acides gras polyinsaturés de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	22
Tableau 6 : pH et acides gras volatils du contenu ruminal de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	24
Tableau 7 : Calcul des charges reliées à l'alimentation, au revenu de la vente de lait et à la marge brute pour de chèvres laitières ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	25

# LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Évolution de la teneur en matières grasses du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément gras insaturé (Val 160).....	11
Figure 2 : Évolution de la teneur en protéines du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160). .....	12
Figure 3 : Évolution du rapport matières grasses : protéines du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	13
Figure 4 : Évolution de la teneur en C18:1 trans-10 du lait (a), C18:1 trans-11 (b) et du rapport C18:1 trans-11 / C18:1 trans-10 (c) de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160). .....	15
Figure 5 : Évolution de la synthèse des acides gras de novo du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160). .....	18
Figure 6 : Évolution de la somme des acides gras à 16 carbones dans le lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	19
Figure 7 : Évolution de la concentration des acides gras préformés de chèvres ayant reçu des rations sans supplément lipidique (Témoin), avec un supplément lipidique de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).....	20
Figure 8 : Évolution de l'efficacité de transfert de C18:3 cis-9, cis-12, cis-15 (a) et des acides gras polyinsaturés $\omega$ -3 (b) de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160). .....	22

# INTRODUCTION

Les chèvres sont reconnues comme étant de « fines bouches », triant leur ration pour consommer plus de concentrés que de fourrages. Le comportement alimentaire sélectif des chèvres et la quantité appréciable de concentrés dans la ration servie en début de lactation les rendent plus à risque de développer l'acidose clinique et subclinique causant ainsi la chute du taux de la matière grasse du lait (Morand-Fehr *et al.*, 2007). Par conséquent, des inversions de composants peuvent apparaître i.e. que le taux de gras devient inférieur à la protéine du lait. En 2015, 63 % des troupeaux caprins sous la supervision de Valacta avaient un contrôle laitier ou plus, où l'on pouvait observer des inversions des composants du lait (Brunelle, communication personnelle, 2016). Certaines études ont démontré que cette inversion pouvait occasionner une perte non négligeable pour le secteur de la transformation, car les fromages produits à partir de ces laits auraient une texture inadéquate (Morand-Fehr *et al.*, 2007), sans compter l'impact négatif sur la productivité et la santé des chèvres (Desnoyers *et al.*, 2009), ainsi que sur le revenu des entreprises caprines (Dion *et al.*, 2017).

Une des solutions prometteuses pour réduire la fréquence et l'intensité des inversions des composants du lait chez la chèvre laitière serait d'offrir un supplément lipidique. Cette stratégie alimentaire serait bénéfique particulièrement en début de lactation, lorsque les chèvres consomment de hauts niveaux de concentrés (Renna *et al.*, 2013). Cela permettrait d'accroître la teneur en matière grasse du lait tout en augmentant la densité énergétique de la ration afin de réduire l'intensité du déficit énergétique de la chèvre en début de lactation (Schmidely et Sauvant, 2001) et aurait un impact positif sur la production laitière (Schmidely *et al.*, 2005). La graine de lin extrudée semble prometteuse comme source de lipides insaturés pour favoriser l'augmentation du taux de matières grasses du lait de chèvre (Chilliard *et al.*, 2013; Bendel et Bettex, 2012), notamment lorsque le rapport fourrages : concentrés de la ration est inférieur à 1 (Renna *et al.*, 2013). Riche en acides gras bénéfiques pour la santé humaine (oméga-3), cet ingrédient permettrait également de transférer efficacement ces acides gras alimentaires au lait de la chèvre (Chilliard *et al.*, 2013). Une autre source de lipides qui se fait connaître chez la vache laitière est un produit à base d'huile de palme riche en acide palmitique (C16:0).

Ce supplément de lipides saturés est une source d'énergie pour la vache qui favorise l'augmentation de la production laitière (Rico *et al.*, 2014) et de la teneur en matières grasses du lait (Lock *et al.*, 2013), mais dont les effets ne sont pas connus chez la chèvre laitière. Considérant les connaissances actuelles, nous croyons qu'un produit à base de graine de lin extrudée, comme le Val 160™, et le Palmit 80®, un sous-produit dérivé de l'huile de palme, sont des alternatives alimentaires prometteuses qui pourraient permettre aux producteurs caprins de réduire la fréquence et l'intensité des inversions de composants du lait chez la chèvre.

### **1.1 Objectif du projet**

Vérifier l'impact d'un supplément lipidique et de son degré de saturation, lorsqu'ajouté à la ration des chèvres laitières recevant une ration riche en concentrés sur la productivité et la teneur des composants du lait.

## **2 MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **2.1 Traitements et dispositif expérimental**

Durant une période préexpérimentale de  $23 \pm 5$  jours post-partum, 30 chèvres de race Alpine (24 multipares et 6 primipares), alimentées individuellement à partir de la mise bas grâce à un système de portes Calan (American Calan, Northwood, NH, États-Unis), ont reçu une ration totale mélangée (RTM) dont le rapport fourrages : concentrés était de 55 : 45 sur une base de matière sèche (MS). Après cette période préexpérimentale, un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets (10 blocs de 3 chèvres) a été appliqué pendant 41 jours. Durant la phase expérimentale, les chèvres ont reçu une ration acidogène riche en amidon (19,4 % sur base MS) contenant 45 % de fourrages et 55 % de concentrés (base MS). Les blocs étaient constitués selon la date de mise-bas, la parité (primipare et multipare) ainsi que le taux de matières grasses du lait. À l'intérieur de chaque bloc, les chèvres étaient assignées de façon aléatoire à 1 des 3 traitements suivants : 1) la ration acidogène sans supplément lipidique, identifiée comme témoin ; 2) la ration acidogène avec un supplément lipidique de gras saturé (Palmit 80®, Natu'oil

Services inc., Coquitlam, Colombie-Britannique, Canada), identifiée comme Palmit 80 ; et 3) la ration acidogène avec supplément de gras insaturé (Val 160<sup>TM</sup>, Jefe Nutrition inc., St-Hyacinthe, Québec, Canada), identifiée comme Val 160. Le Palmit 80<sup>®</sup>, un sous-produit de l'huile de palme commercialisé comme une source énergétique riche en acide palmitique (C16:0), était incorporé à la ration au taux de 2 % de la MS. Quant au Val 160<sup>TM</sup>, ce supplément énergétique et protéique à base de graine de lin extrudée et de son de blé, il était incorporé à la ration au taux de 7 % de la MS. En plus de ces sources lipidiques, les rations étaient composées d'ensilage de luzerne, d'orge moulue, de fin gluten de maïs, de tourteau de lin, de son de blé et d'un mélange de vitamines et de minéraux (tableau 1). La composition nutritionnelle des rations est présentée au tableau 2. En moyenne, tout au long de la phase expérimentale, la teneur en C16:0 de la ration Palmit 80 a été de 19,48 mg/g MS contre 4,95 mg et 6,18 mg/g MS pour les rations Témoin et Val 160. Quant à la teneur en C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 de la ration Val 160, elle a été de 14,87 mg/g MS versus 5,78 mg pour la ration Témoin et 5,67 mg pour la ration Palmit 80. Toutes les rations étaient isoprotéiques alors que celles contenant les suppléments lipidiques étaient aussi isoénergétiques. Afin d'assurer la transition entre le régime à base de foin offert en gestation et les RTM servies en début de lactation, chaque chèvre recevait 100 g de foin haché avant le repas du matin de la période préexpérimentale. De plus, afin de faciliter les déplacements au quai de traite tout au long de l'expérimentation, les chèvres ont reçu 60 g de maïs concassé 2 fois par jour, ce qui correspond à 3,9 % de la MS ingérée (tableau 1). Au début de la période expérimentale, l'augmentation des concentrés dans la ration a été effectuée en offrant, le premier jour, un apport de 50 : 50 en fourrages et en concentrés et un apport de 45 : 55, la seconde journée. Tout au long de l'expérience, les RTM ont été offertes aux chèvres 2 fois par jour (10h00 et 18h00) et la quantité de la ration distribuée était ajustée selon la prise alimentaire du jour précédent afin d'obtenir 10 % de refus. L'ensilage a été échantillonné chaque semaine et séché pendant 72h à 55 °C dans un four à air forcé afin de déterminer la concentration de MS et d'ajuster la proportion de l'ensilage dans les RTM sur une base telle que servie. Cela permettait d'offrir aux chèvres un régime constant. Les chèvres étaient logées sur une litière de copeaux de bois et avaient accès à l'eau en tout temps.



**Tableau 1 :** Composition des rations totales mélangées offertes durant les périodes préexpérimentale et expérimentale.

Ingrédient, % MS	Période préexpérimentale	Traitement		
		Témoin	Palmit 80	Val 160
Fourrages :				
Ensilage de luzerne	55,0	45,0	45,0	45,0
Concentrés :				
Orge moulue	32,3	41,1	38,7	38,7
Maïs concassé <sup>1</sup>	3,9	3,9	3,9	3,9
Fin gluten de maïs	1,8	3,0	3,4	3,4
Tourteau de lin	2,9	2,9	2,9	-
Son de blé	2,1	2,1	2,1	-
Palmit 80 <sup>2</sup>	-	-	2,0	-
Val 160 <sup>3</sup>	-	-	-	7,0
Mélange minéraux-vitamines <sup>4</sup>	2,0	2,0	2,0	2,0

<sup>1</sup> Servi au quai de traite en 2 repas égaux

<sup>2</sup> Palmit 80<sup>®</sup> («superstéarine», un sous-produit de l'huile de palme)

<sup>3</sup> Val 160<sup>™</sup> (graine de lin extrudée et son de blé)

<sup>4</sup>Minéral Synchro 20-2T (La Coop, Montréal, QC, Canada). Contient sur une base de matière sèche, 200 g/kg de Ca, 20 g/kg de P, 95 g/kg de Na, 50 g/kg de Mg, 1 g/kg de K, 14 g/kg de S, 45 mg/kg de I, 1 840 mg/kg de Fe, 600 mg/kg de Cu, 2 000 mg/kg de Mn, 3 000 mg/kg de Zn, 25 mg/kg de Se, 20 mg/kg de Co, 200 mg/kg de F, 300 kUI de vitamine A, 100 kUI de vitamine D et 1 500 UI de vitamine E

**Tableau 2 :** Composition nutritionnelle des rations totales mélangées en période d'adaptation et d'expérimentation.

Paramètre	Période préexpérimentale	Traitement		
		Témoin	Palmit 80	Val 160
Matière sèche (MS), % telle que servie <sup>1</sup>	40,1	44,9	44,5	44,7
Matière organique, % MS <sup>1</sup>	93,0	93,6	93,8	93,7
Protéine brute, % MS <sup>1</sup>	17,0	16,9	16,6	16,7
Fibres au détergent neutre (NDF), % MS <sup>1</sup>	27,4	25,3	25,5	25,1
Fibres au détergent acide (ADF), % MS <sup>1</sup>	21,3	18,4	18,4	18,9
Amidon, % MS <sup>1</sup>	17,9	20,1	19,4	18,7
Énergie nette de lactation, Mcal/kg MS <sup>2</sup>	1,60	1,65	1,71	1,71
Acide gras, g/100 g d'acides gras <sup>1</sup>				
C10:0	1,60	0,40	0,20	0,23
C12:0	0,40	0,23	0,53	0,10
C14:0	0,80	0,80	2,23	0,50
C14:1 <i>cis</i> -9	0,10	0,23	0,13	0,13
C16:0	20,6	22,1	49,2	15,7
C16:1 <i>cis</i> -9	0,30	0,30	0,20	0,20
C18:0	3,20	2,73	3,00	3,53
C18:1 <i>cis</i> -9	11,10	11,87	9,77	14,33
C18:1 <i>cis</i> -11	0,90	0,73	0,47	0,73
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12	32,1	34,3	19,6	26,6
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15	28,3	25,8	14,3	37,6
C20:0	0,60	0,57	0,37	0,40
Acide gras, mg/g MS <sup>1</sup>				
C10:0	0,38	0,09	0,08	0,10
C12:0	0,08	0,05	0,20	0,05
C14:0	0,18	0,18	0,88	0,20
C14:1 <i>cis</i> -9	0,03	0,05	0,05	0,06
C16:0	4,81	4,95	19,48	6,18
C16:1 <i>cis</i> -9	0,07	0,07	0,08	0,08
C18:0	0,75	0,61	1,18	1,41
C18:1 <i>cis</i> -9	2,60	2,67	3,86	5,66
C18:1 <i>cis</i> -11	0,20	0,16	0,18	0,30
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12	7,51	7,71	7,76	10,51
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15	6,63	5,78	5,67	14,87
C20:0	0,14	0,13	0,14	0,16
Total	23,4	22,5	39,6	39,6

<sup>1</sup>Valeurs déterminées par analyse chimique

<sup>2</sup>Valeurs nutritionnelles théoriques du logiciel de formulation Small Ruminant Nutrition System (SRNS; version 1.9.6, Tedeschi *et al.*, 2010)

## **2.2 Mesures, échantillonnages et analyses**

### **2.2.1 Poids et prise alimentaire**

Au cours des 41 jours d'expérimentation, 3 périodes de collectes ont été prévues, soit durant les jours 7 à 10 (nommé J10), 17 à 20 (nommé J20) et 38 à 41 (nommé J41). Ainsi, les données de poids, de prise alimentaire et de production laitière, de même que les échantillons ont été recueillis au cours des 4 derniers jours de la période préexpérimentale et des 3 périodes de collecte de la phase expérimentale. Les chèvres ont été pesées après la traite du matin durant 3 jours consécutifs. La prise alimentaire quotidienne de chaque chèvre a été calculée en soustrayant les refus de la quantité totale de RTM offerte chaque jour. Les RTM et les refus ont été échantillonnés chaque jour pendant les périodes de collecte. Pour chacune des périodes, des échantillons composites de RTM ont été formés selon les traitements, alors que les échantillons de refus ont été regroupés par chèvre et congelés à -20 °C. Au moment des analyses, les échantillons de RTM et de refus ont été lyophilisés et moulus à 1 mm à l'aide d'un moulin Wiley (modèle 4, Arthur M, Thomas Co., Philadelphie, PA, États-Unis). Les analyses effectuées sur ces échantillons ont été : la MS analytique (méthode 934.01; AOAC International, 2005), les fibres au détergent neutre (NDF; Ankom Technology, méthode 6 : NDF pour les aliments-technique des sacs filtrants A200, les solutions utilisées étaient celles de la méthode de Van Soest *et al.*, 1991 avec l'inclusion d' $\alpha$ -amylase stable à la chaleur), les fibres au détergent acide (ADF; Ankom Technology, Fairport, NY, États-Unis, méthode 5 : ADF pour les aliments-technique des sacs filtrants A200, les solutions utilisées étaient celles de la méthode 973.18, AOAC International, 2005), les protéines brutes (méthode 2001.11, AOAC International, 2005), les cendres (méthode 942.05, AOAC International, 2000) et l'amidon (Hall, 2009). Le profil en acides gras des RTM et des refus a été obtenu par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode décrite par Fauteux *et al.* (2016).

### **2.2.2 Production laitière et composants du lait**

Tout au long de l'expérience, les chèvres ont été traitées 2 fois par jour, soit à 7h00 et 17h00. Lors des périodes de collecte, la production laitière a été mesurée pendant 6 traites consécutives en utilisant une balance prévue à cette fin (Goat Milk Meter, Waikato MKV, Hamilton, Nouvelle-Zélande) et des échantillons de lait ont été collectés. Proportionnellement à la production laitière de chaque chèvre, les échantillons de lait des

6 traites ont été mélangés, stockés à 4 °C avec du Bronopol (2-bromo-2-nitropropane-1,3-dio), qui est un agent de conservation, et acheminés chez Valacta (Ste-Anne-de-Bellevue, QC, Canada) pour l'analyse des composants (matières grasses, protéines, lactose, cellules somatiques et l'azote uréique). Les matières grasses, les protéines, le lactose et l'azote uréique ont été effectués par spectroscopie d'absorption infrarouge avec un instrument Foss MilkoScan FT 6000 (Foss, Hillerød, Danemark). Pour le comptage de cellules somatiques, le même échantillon a été utilisé toutefois avec l'appareil Fossomatic FC (Foss). Des échantillons de lait composites ont été conservés à -20 °C pour l'analyse ultérieure du profil en acides gras. Les résultats d'analyses des composants du lait ont permis de calculer la production laitière corrigée pour l'énergie en utilisant l'équation suivante :  $((38,9 \times \text{production de matières grasses (kg/j)}) + (23,8 \times \text{production de protéines (kg/j)}) + (16,3 \times \text{production de lactose (kg/j)})) / 3,14$  (Madsen *et al.*, 2008), de même que la production laitière corrigée à 4 % de matières grasses selon l'équation suivante :  $\text{production laitière (kg/j)} \times (0,411 + 0,147 \times \text{matières grasses du lait (\%)})$  (Mavrogenis et Papachristoforou, 1988).

### **2.2.3 Profil en acides gras du lait**

L'analyse du profil en acides gras du lait a été effectuée selon la méthode de Boivin *et al.* (2013), à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Agilent 7890A, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, États-Unis) équipé d'une colonne capillaire CP-Sil-88 (100 m de longueur  $\times$  0,25 m de diamètre interne  $\times$  0,20 mm d'épaisseur de film, Agilent Technologies Canada inc., Mississauga, ON, Canada) et d'un détecteur d'ionisation à flamme.

### **2.2.4 Acides gras volatils et pH ruminal**

À la fin de la période préexpérimentale et une fois durant les jours de collecte 17 à 20 et 38 à 41 de la période expérimentale, du liquide ruminal a été échantillonné aux temps 0, 2, 4, 6 et 8 h après le repas du matin. Pour ce faire, un long tube de plastique, connecté à un embout métallique ayant des ouvertures de 1 mm permettant de filtrer le contenu ruminal, a été inséré par voie orale dans le rumen des chèvres. Le liquide a été aspiré avec une seringue de 60 ml et utilisé aussitôt pour la mesure du pH (Accumet pH Meter 925, Fisher Scientific, Hampton, NH, États-Unis). Deux échantillons de 10 ml ont ensuite

été préparés dans des flacons de verre de 20 ml contenant 200 µL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (50 %, v/v) et entreposés à -20 °C pour l'analyse ultérieure des acides gras volatils (AGV).

Au moment des analyses, les échantillons de liquide ruminal ont été décongelés à température ambiante et centrifugés à 25,200 × g pendant 15 minutes à 4 °C. Le surnageant a ensuite été transféré dans des microtubes. Le profil en AGV du liquide ruminal a été déterminé à partir d'un chromatographe en phase gazeuse (Agilent 7820, Agilent Technologies Canada inc.) équipé d'une colonne capillaire HP-INNOWAX (30 m de longueur × 0,32 mm de diamètre interne × 0,25 µm d'épaisseur de film, Agilent Technologies Canada inc.) et d'un détecteur d'ionisation à flamme.

### **2.2.5 Analyse statistique**

Les données ont été analysées avec l'option REPEATED de la procédure MIXED de SAS (version 9.4, SAS Institute inc., Cary, NC, États-Unis). Les valeurs obtenues à la période préexpérimentale (jour 0) ont servi de covariable. Le modèle suivant a été utilisé :

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + H_j + (T \times H)_{ij} + A_{(k)_l} + B_l + C + \epsilon_{ijkl}$$

où  $Y_{ijkl}$  est la réponse observée au temps  $j$  de l'animal  $k$  ayant reçu le traitement  $i$  dans le bloc  $l$ ,  $\mu$  est la moyenne globale ;  $T_i$  désigne l'effet fixe du traitement ( $i$  = Témoin, Palmit 80 ou Val 160),  $H_j$  réfère à l'effet fixe du temps d'échantillonnage ( $j$  = 0, 10, 20, et 41 jours),  $(T \times H)_{ij}$  est l'effet fixe de l'interaction entre le temps et le traitement,  $A_{(k)_l}$  est l'effet aléatoire de la chèvre ( $k$  = 1 à 3) dans le bloc ( $l$  = 1 à 10),  $B_l$  est l'effet aléatoire du bloc,  $C$  est l'ajustement de la covariable pour chaque chèvre ( $C$  = 1 à 30), et  $\epsilon_{ijkl}$  est l'erreur résiduelle. Les résultats présentés dans ce document sont des moyennes ajustées par le modèle statistique (moyennes des moindres carrés). Lorsque l'interaction entre le temps et le traitement n'était pas significative, l'effet des traitements a été analysé sur la moyenne des valeurs obtenues au cours des 2 dernières collectes à partir de comparaisons multiples par paire ajustées selon Tukey. Les différences entre les traitements sont déclarées significatives lorsque la valeur de  $P$  est  $\leq 0,05$  et les tendances sont considérées entre  $P > 0,05$  et  $P \leq 0,10$ .

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Poids, prise alimentaire et production laitière

Dans le contexte de notre étude, le poids ( $60,3 \pm 0,7$  kg), la prise alimentaire ( $3,37 \pm 0,16$  kg/j) et la production laitière ( $4,82 \pm 0,27$  kg/j) étaient similaires entre les traitements (tableau 3). Conséquemment, la production laitière corrigée pour l'énergie ( $4,56 \pm 0,22$  kg/j), corrigée à 4 % de matières grasses ( $4,66 \pm 0,23$  kg/j), ou encore l'efficacité alimentaire ( $1,44 \pm 0,07$  ; tableau 3) n'étaient pas différentes entre les traitements. Ces résultats sont contradictoires à ceux rapportés dans l'étude de Schmidely *et al.*, (2005), où l'ajout de gras à une ration riche en concentrés avait entraîné une augmentation de la production laitière des chèvres.

### 3.2 Composants du lait

Les teneurs en matières grasses et en protéines du lait de même que le rapport matières grasses : protéines ont été diminués à la suite d'une alimentation riche en concentrés ( $P_{\text{temps}} < 0,01$ ). Comme prévu, pour les chèvres recevant la ration Témoin, la teneur en matières grasses dans le lait a diminué de 19 % par rapport à la période préexpérimentale. Il est reconnu que les régimes contenant une grande proportion de concentrés (glucides rapidement fermentescibles) et peu de fibres efficaces mènent à des perturbations de l'environnement ruminal, ce qui cause une diminution du pH, symptôme de l'acidose ruminale (Kleen *et al.*, 2003). Cette chute de pH affecte les classes et la diversité des microorganismes du rumen (Huo *et al.*, 2014) influençant ainsi leur action sur les aliments arrivant au rumen. Dans ces conditions, la biohydrogénation des acides gras se retrouve perturbée et des intermédiaires de ce processus, comme le C18:2 *trans*-10, *cis*-12 engendre la chute de production des matières grasses du lait (Bauman *et al.*, 2003).

**Tableau 3 :** Poids, prise alimentaire, production laitière et composants du lait de chèvre recevant des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160)

Paramètre	Traitement			ET <sup>1</sup>	Valeur de <i>P</i>
	Témoin	Palmit 80	Val 160		Traitement <sup>6</sup>
Nombre de chèvres	10	10	10		
Poids, kg	61,10	59,40	60,30	0,70	0,23
Prise alimentaire (PA), kg MS/j	3,57	3,22	3,31	0,16	0,29
Production laitière, kg/j					
Mesurée	4,85	5,05	4,56	0,27	0,23
Corrigée pour l'énergie <sup>2</sup>	4,45	4,82	4,42	0,22	0,21
Corrigée à 4% de MG <sup>3</sup>	4,55	4,95	4,48	0,23	0,17
Efficacité alimentaire <sup>4</sup> , kg/kg					
Production mesurée/PA	1,39	1,54	1,40	0,07	0,29
LCE/PA	1,27	1,48	1,36	0,07	0,14
LCMG/PA	1,31	1,51	1,38	0,07	0,14
Composition du lait					
Matières grasses (MG), %	3,60b	3,92a	3,90a	0,08	<0,01*
Protéines (P), %	3,33ab	3,29b	3,45a	0,04	0,01**
Lactose, %	4,32	4,35	4,41	0,04	0,22
Rapport MG : P	1,09b	1,19a	1,14ab	0,02	<0,01*
Cote de CS <sup>5</sup>	2,46	1,51	2,84	0,38	0,06
Azote uréique, mg/dL	31,10	29,50	29,00	0,70	0,07
Production des composantes					
Matières grasses, g/j	174	196	177	8	0,08
Protéines, g/j	160	166	156	8	0,50
Lactose, g/j	209	219	201	11	0,32

<sup>1</sup>ET = erreur-type.

<sup>2</sup>Production corrigée pour l'énergie (LCE) = ((38,9 × production de gras (kg/j)) + (23,8 × production de protéine (kg/j)) + (16,3 × production de lactose (kg/j))) / 3,14 (Madsen *et al.*, 2008).

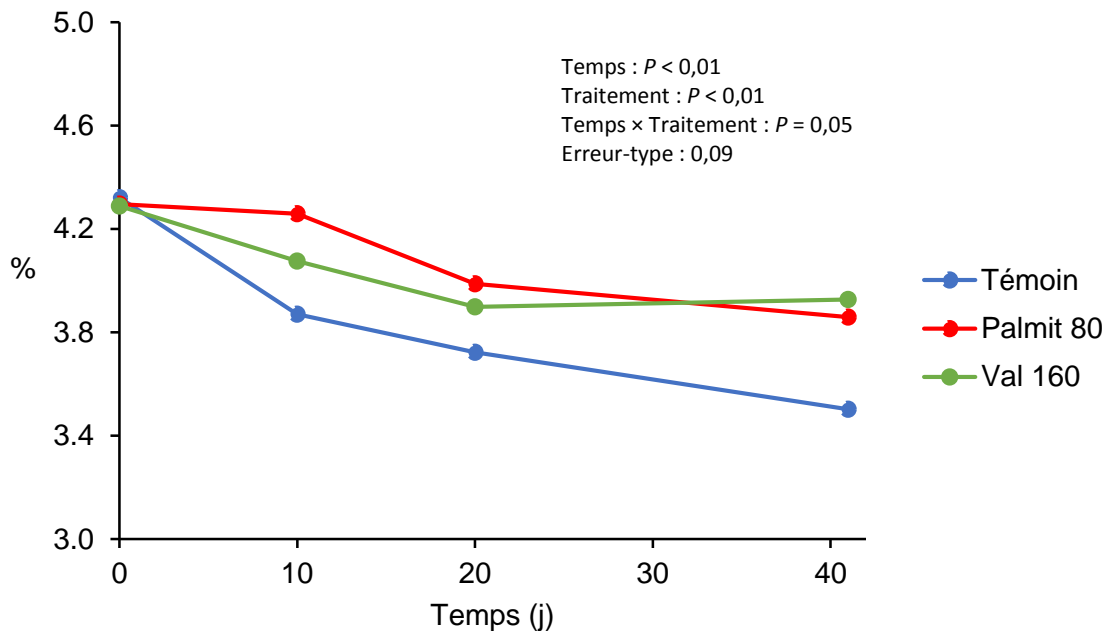
<sup>3</sup>Production corrigée à 4% de matières grasses (LCMG) = (production laitière (kg/j) × (0,411 + 0,147 × matières grasses du lait (%)) (Mavrogenis et Papachristoforou, 1988).

<sup>4</sup>Efficacité alimentaire = production laitière (kg/j) / prise alimentaire (PA) (kg MS/j).

<sup>5</sup>Cote de CS (cellules somatiques) = log<sub>2</sub>(Comptage de CS/100 000) + 4 (Shook, 1982).

<sup>6</sup>Interaction temps × traitement : \*\**P* ≤ 0,01; \*0,01 < *P* ≤ 0,05.

Les suppléments lipidiques (Palmit 80 et Val 160) servis aux chèvres en début lactation ont modifié la composition du lait (tableau 3). La figure 1 nous montre que la vitesse à laquelle la teneur en matières grasses du lait diminue est différente entre les traitements ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} = 0,05$ ). En effet, pour le traitement Témoin, des valeurs plus faibles aux valeurs initiales étaient observées dès le 10<sup>e</sup> jour après le début des traitements, alors qu'une chute moins prononcée était observée après le 20<sup>e</sup> jour pour le traitement Val 160 et le 41<sup>e</sup> jour pour le traitement Palmit 80. Comme nos résultats, la plupart des études réalisées chez la chèvre laitière montrent les bénéfices du gras ajouté à la ration sur la teneur en matières grasses du lait de chèvre (Bendel et Bettex, 2012 ; Eknaes *et al.*, 2017), et aussi lorsque des inversions de composants du lait apparaissent (Schmidely et Sauvart, 2001 ; Chilliard *et al.*, 2003; Schmidely *et al.*, 2005; Renna *et al.*, 2013).

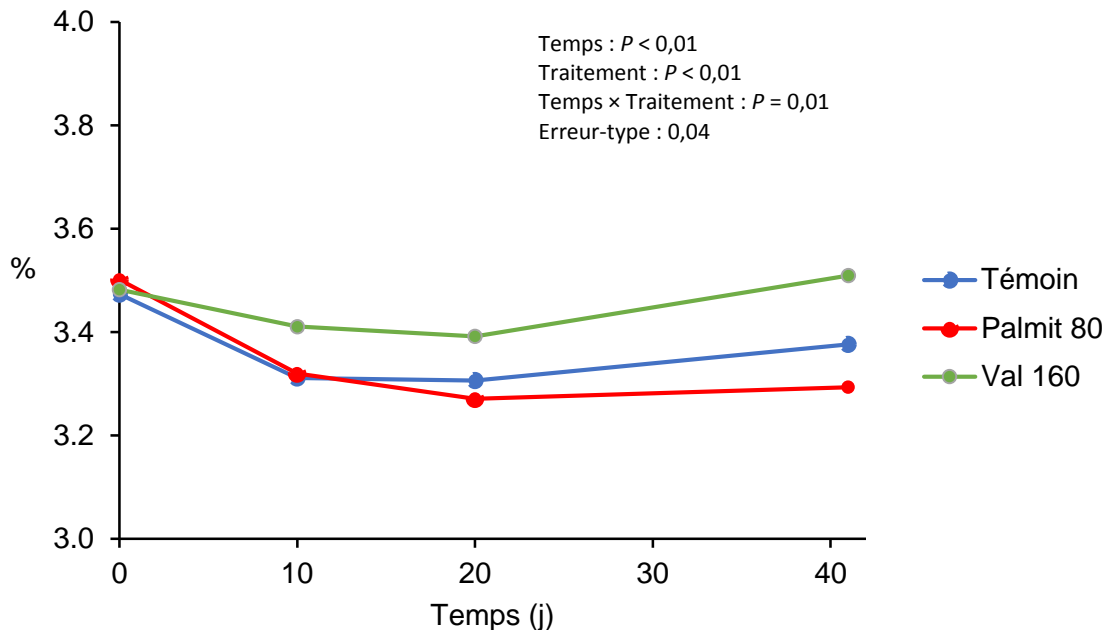


**Figure 1** : Évolution de la teneur en matières grasses du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément gras insaturé (Val 160).

Contrairement au traitement Palmit 80, où la teneur en protéines diminue dans le temps, les traitements Témoin et Val 160 ne sont pas différents ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} = 0,01$ ; figure 2). Cette teneur en protéines moins élevée dans le lait des chèvres recevant le traitement Palmit 80 ne se traduit toutefois pas en une sécrétion de protéines dans le lait moins



importante que celles observées pour les 2 autres traitements. Puisque la production laitière est numériquement plus élevée pour le traitement Palmit 80, on peut penser que la diminution de la teneur en protéines pour ce traitement est attribuable à un effet de dilution.

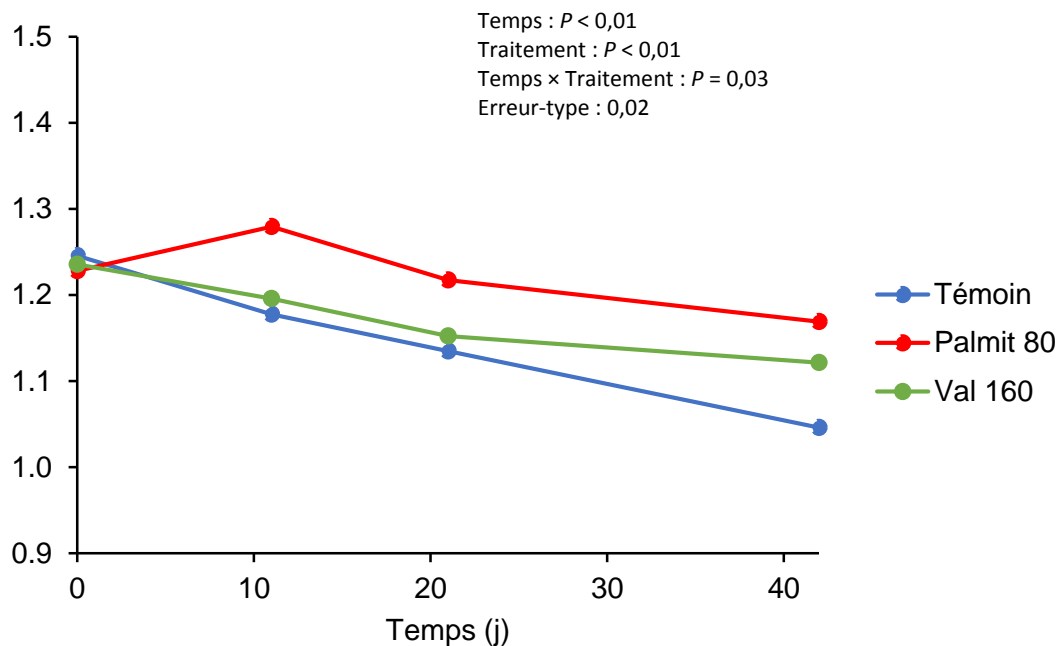


**Figure 2 :** Évolution de la teneur en protéines du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

En 41 jours, le rapport matières grasses : protéines du lait est passé de 1,24 à 1,12 (baisse de 9,7 %) pour le groupe Val 160 et il est passé de 1,25 à 1,05 (baisse de 16,0 %) pour le groupe Témoin. Le rapport matières grasses : protéines du lait est tributaire de plusieurs facteurs (génétique, environnemental, physiologique et métabolique), mais la nutrition est souvent mise en cause. En accord avec les observations de la présente expérience, une récente étude réalisée au CRSAD a démontré que l'incorporation de 55 % de concentrés à la ration de chèvres laitières pendant 56 jours a eu des répercussions à long terme sur la teneur et la production des matières grasses de même que sur le rapport matières grasses : protéines du lait (Dion *et al.*, 2017). Lors de cette dernière, par rapport à la période préexpérimentale, la teneur et la production de matières grasses ainsi que le rapport matières grasses : protéines du lait ont respectivement diminué de 16 %, 13 %, et de 17 % après 28 jours et puis de 21 %, 21 % et 21 % après

56 jours. Une inversion des composants du lait a été obtenue au terme des 56 jours de traitement (Dion *et al.*, 2017).

Quoique dans la présente expérience aucune inversion de taux n'a été observée pour aucun des traitements après 41 jours, la figure 3 illustre les effets différents des taux de matière grasse et de protéine du lait sur l'évolution du rapport entre ces 2 composants ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} = 0,03$ ). Comparativement aux chèvres des groupes Témoin et Val 160, le rapport matières grasses : protéines pour les chèvres recevant le supplément Palmit 80 s'est maintenu au cours de l'expérience. Quant aux traitements Témoin et Val 160, des valeurs plus faibles qu'aux valeurs préexpérimentales ont été respectivement observées au 20<sup>e</sup> et 41<sup>e</sup> jours. Selon nos résultats, le supplément Palmit 80 a limité la diminution du ratio matières grasses : protéines chez des chèvres recevant une ration acidogène, comparativement au traitement Témoin, alors que chez les chèvres recevant le Val 160, ce rapport était de valeur intermédiaire.



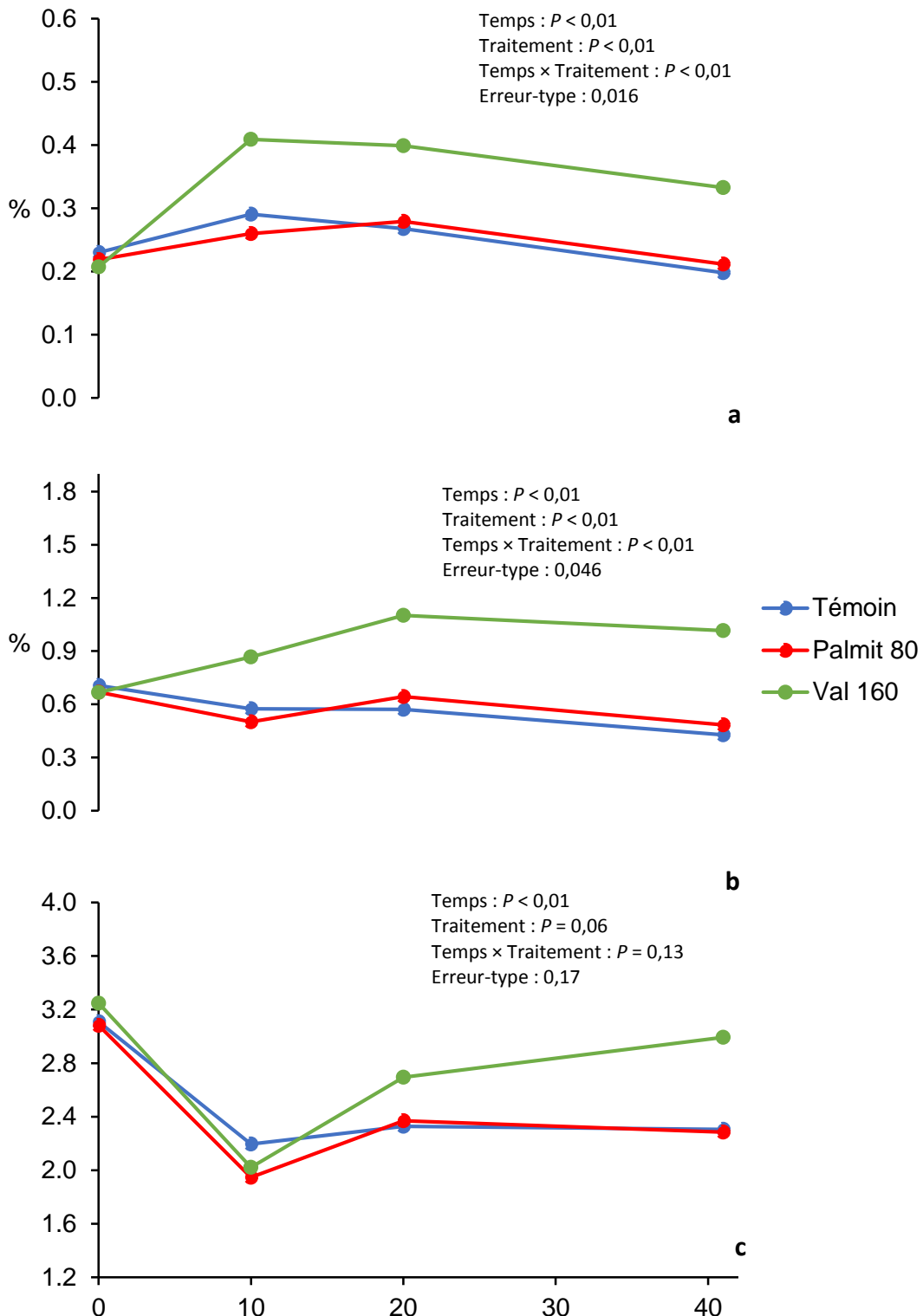
**Figure 3** : Évolution du rapport matières grasses : protéines du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

### 3.3 Profil en acides gras du lait

#### 3.3.1 Intermédiaires de la biohydrogénation

La composition en acides gras du lait a été modifiée à plusieurs égards suite aux traitements alimentaires (tableau 4). Les concentrations en acides gras C18:1 *trans*-10 et C18:2 *trans*-10, *cis*-12, ainsi que le rapport C18:1 *trans*-11 : C18:1 *trans*-10 sont connus comme étant des indicateurs de la déviation des bactéries du rumen vers le sentier de biohydrogénation *trans*-10 au détriment du sentier *trans*-11.

Dans notre étude, on remarque que les concentrations de C18:1 *trans*-10 et de C18:1 *trans*-11, de même que le rapport C18:1 *trans*-11 : C18:1 *trans*-10 dans le lait ont été plus élevés pour le groupe de chèvres recevant le supplément Val 160 que pour les groupes de chèvres Témoin et Palmit 80, alors qu'aucune différence n'était notée entre les chèvres de ces 2 groupes de traitement. On observe aussi que, selon les traitements, ces indicateurs n'ont pas évolué de la même manière au cours de l'expérience ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} : P < 0,01$ ). Les figures 4a et 4b nous montrent qu'il y a eu une augmentation abrupte de la concentration de C18:1 *trans*-10 et de C18:1 *trans*-11 au 10<sup>e</sup> jour pour le traitement Val 160 comparativement aux 2 autres traitements, Témoin et Palmit 80, pour qui les concentrations de C18:1 *trans*-10 et de C18:1 *trans*-11 n'ont pas été affectées par leur traitement respectif. L'augmentation de la teneur en C18:1 *trans*-10 et en C18:1 *trans*-11 pour le traitement Val 160 serait expliquée par l'apport de gras insaturé dans le rumen qui favorise la production de tous les isomères de la biohydrogénation. Aucun effet de traitement n'a été obtenu pour la teneur en C18:2 *trans*-10, *cis*-12 dans le lait. Quant au rapport C18:1 *trans*-11 : C18:1 *trans*-10 présenté à la figure 4c, tous traitements confondus, il est passé de  $3,15 \pm 0,09$  à la période préexpérimentale pour diminuer jusqu'à  $2,52 \pm 0,09$  à la fin des 41 jours de traitement (baisse de 20 %) ( $P_{\text{temps}} < 0,01$ ). Ces résultats confirment ceux de Dion *et al.* (2017), où l'apport de 55 % concentrés s'étaient aussi traduits par une modification des concentrations dans le lait des isomères de la biohydrogénation des acides gras polyinsaturés à la faveur du sentier alternatif *trans*-10.



**Figure 4 :** Évolution de la teneur en C18:1 *trans*-10 du lait (a), C18:1 *trans*-11 (b) et du rapport C18:1 *trans*-11 / C18:1 *trans*-10 (c) de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoins), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

**Tableau 4** : Profil en acides gras du lait de chèvre recevant des rations sans supplément de gras (Témoïn), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

Paramètre, g/100g de gras	Traitement			ET <sup>1</sup>	Valeur de P
	Témoïn	Palmit 80	Val 160		Traitement <sup>7</sup>
C4:0	1,87	2,00	1,95	0,04	0,13*
C6:0	1,83ab	1,76b	1,90a	0,03	0,01*
C8:0	2,21a	1,96b	2,22a	0,05	<0,01**
C10:0	9,40a	7,98b	8,29b	0,24	<0,01**
C10:1 <i>cis</i> -9	0,182a	0,155b	0,165ab	<0,018	0,05**
C11:0	0,119a	0,098ab	0,095b	<0,016	0,03*
C12:0	5,81a	5,09b	4,61b	0,19	<0,01**
C12:1 <i>cis</i> -9	0,151a	0,125ab	0,105b	<0,018	<0,01**
<i>iso</i> -C13:0	0,018	0,017	0,017	<0,011	0,82
<i>anteiso</i> -C13:0	0,014	0,014	0,012	<0,011	0,57
C13:0	0,094	0,080	0,080	<0,014	0,04*
<i>iso</i> -C14:0	0,085	0,077	0,076	<0,013	0,07
C14:0	12,0a	10,7b	10,2b	0,2	<0,01**
C14:1 <i>cis</i> -9	0,179a	0,157b	0,121c	<0,016	<0,01**
C14:1 <i>cis</i> -11	0,176a	0,147ab	0,130b	<0,019	0,01**
<i>iso</i> -C15:0	0,133	0,120	0,119	<0,014	0,05
<i>anteiso</i> -C15:0	0,295	0,272	0,286	<0,019	0,07
C15:0	0,788a	0,689b	0,684b	0,024	0,01**
<i>iso</i> -C16:0	0,337a	0,281b	0,276b	0,016	0,01
C16:0	26,7b	29,8a	21,5c	0,4	<0,01**
C16:1 <i>trans</i> -9	0,047b	0,054b	0,093a	<0,015	<0,01**
<i>iso</i> -C17:0 <sup>2</sup>	0,228a	0,198b	0,226ab	<0,019	0,03
C16:1 <i>cis</i> -9	0,499b	0,632a	0,415c	0,019	<0,01**
<i>anteiso</i> -C17:0 <sup>3</sup>	0,412	0,376	0,393	0,013	0,15
C16:1 <i>cis</i> -11	0,021	0,020	0,019	<0,011	0,21
C16:1 <i>cis</i> -13	0,280a	0,218b	0,190b	0,012	<0,01**
C17:0	0,225	0,202	0,205	<0,017	0,05
C17:1 <i>cis</i> -9	0,088a	0,090a	0,072b	<0,015	0,01
<i>iso</i> -C18:0	0,036	0,033	0,030	<0,012	0,13
C18:0	4,63b	4,73b	6,94a	0,22	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -4	0,014ab	0,013b	0,016a	<0,011	0,07*
C18:1 <i>trans</i> -5	0,016	0,015	0,016	<0,011	0,28
C18:1 <i>trans</i> -6, <i>trans</i> -7 et <i>trans</i> -8	0,164b	0,179b	0,261a	0,010	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -9	0,368	0,391	0,463	0,030	0,10*
C18:1 <i>trans</i> -10	0,235b	0,246b	0,364a	0,014	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -11	0,499b	0,559b	1,054a	0,049	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -12	0,291b	0,308b	0,651a	0,018	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -15	0,364b	0,352b	0,761a	0,032	<0,01**
C18:1 <i>trans</i> -16	0,253b	0,246b	0,666a	0,023	<0,01**
C18:1 <i>cis</i> -9 <sup>3</sup>	11,7b	12,6b	14,7a	0,5	<0,01*
C18:1 <i>cis</i> -11	0,584	0,590	0,588	0,045	0,99
C18:1 <i>cis</i> -12	0,344b	0,329b	0,712a	0,038	<0,01**
C18:1 <i>cis</i> -13	0,070b	0,078b	0,152a	0,020	0,01**
C18:1 <i>cis</i> -15	0,075b	0,081b	0,362a	0,010	<0,01**
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12	1,82	1,79	1,93	0,06	0,20
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11	0,236b	0,260b	0,451a	0,026	<0,01**

Paramètre, g/100g de gras	Traitement			ET <sup>1</sup>	Valeur de <i>P</i>
	Témoïn	Palmit 80	Val 160		Traitement <sup>7</sup>
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -12	0,063b	0,058b	0,142a	<0,014	<0,01**
C18:2 <i>trans</i> -8, <i>cis</i> -12	0,243b	0,250b	0,601a	0,022	<0,01**
C18:2 <i>trans</i> -8, <i>cis</i> -13	0,092b	0,101b	0,260a	0,011	<0,01**
C18:2 <i>trans</i> -9, <i>trans</i> -12	0,024b	0,024b	0,047a	<0,013	<0,01**
C18:2 <i>trans</i> -9, <i>cis</i> -12	0,052b	0,055b	0,077a	<0,013	<0,01**
C18:2 <i>trans</i> -10, <i>cis</i> -12 <sup>4</sup>	0,030	0,028	0,031	<0,012	0,39
C18:2 <i>trans</i> -11, <i>cis</i> -15	0,072b	0,077b	0,328a	0,016	<0,01**
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11, <i>cis</i> -15	0,029b	0,032b	0,061a	<0,013	<0,01**
C18:3 <i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12	0,028ab	0,030a	0,025b	<0,011	0,04
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15	0,733b	0,664b	1,216a	0,038	<0,01**
C18:4 <i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15	0,015b	0,016b	0,026a	<0,012	<0,01**
C19:0	0,059b	0,070b	0,117a	<0,016	<0,01**
C20:0	0,111b	0,109b	0,131a	<0,016	0,02
C20:1 <i>cis</i> -9	0,007b	0,006b	0,011a	<0,011	<0,01*
C20:1 <i>cis</i> -11	0,020	0,017	0,026	<0,013	0,15
C20:2 <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14	0,018	0,018	0,020	<0,011	0,45
C20:3 <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17	0,016	0,013	0,016	<0,011	0,16
C20:3 <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14	0,018a	0,018ab	0,016b	<0,011	0,03*
C20:4 <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17	0,015	0,015	0,016	<0,011	0,90
C20:4 <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14	0,108a	0,098ab	0,084b	<0,016	0,04
C20:5 <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17	0,055b	0,054b	0,076a	<0,014	<0,01
C22:0	0,036	0,034	0,038	<0,012	0,40
C22:1 <i>cis</i> -13	0,012	0,012	0,012	<0,011	0,84
C22:2 <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16	0,013	0,011	0,011	<0,011	0,07
C22:3 <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19	0,010	0,010	0,010	<0,011	0,95
C22:4 <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16	0,017a	0,015ab	0,013b	<0,011	0,03
C22:5 <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19	0,072	0,058	0,076	<0,017	0,16
C22:6 <i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19	0,025	0,019	0,025	<0,012	0,03
C24:0	0,022	0,019	0,021	<0,012	0,12
C24:1 <i>cis</i> -9	0,011	0,009	0,010	<0,011	0,19
Glycérol	12,0a	11,8b	11,8b	0,03	<0,01*
Somme					
Acides gras de novo <sup>5</sup>	32,0a	28,2b	27,9b	0,6	<0,01**
C16	27,6b	30,8a	22,3c	0,4	<0,01**
Acides gras préformés <sup>6</sup>	26,6b	27,3b	36,2a	0,8	<0,01**
Ratio C18:1 <i>trans</i> -11 : C18:1 <i>trans</i> -10	2,28b	2,30b	2,90a	0,14	0,01

<sup>1</sup>ET = erreur-type.

<sup>2</sup>Coalution avec le C16:1 *trans*-10

<sup>3</sup>Coalution avec le C16:1 *cis*-10

<sup>4</sup>Acide linoléique conjugué (ALC)

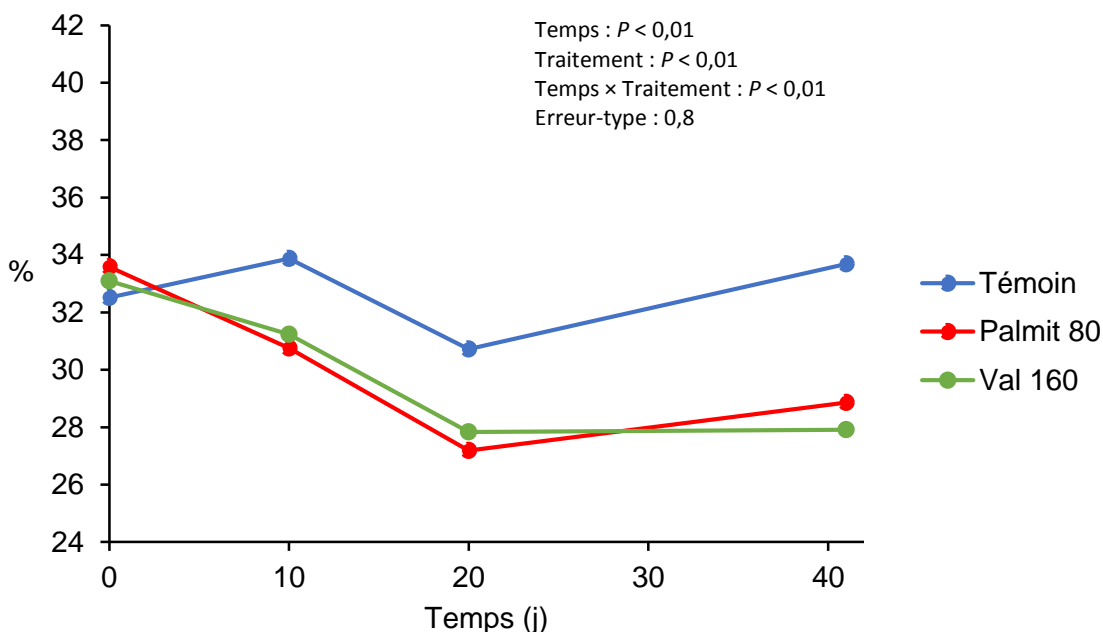
<sup>5</sup>Somme des acides gras à chaîne courte (C6 à C14)

<sup>6</sup>Somme des acides gras à chaîne ramifiée (*iso*-C13:0, *anteiso*-C13:0, *iso*-C14:0, *iso*-C15:0, *anteiso*-C15:0, *iso*-C16:0, *iso*-C17:0 et *anteiso*-C17:0), des acides gras à chaîne impaire (C13:0 et C15:0) et de tous les autres acides gras contenant une chaîne de 17 carbones et plus.

<sup>7</sup>Interaction temps x traitement : \*\**P* ≤ 0,01; \*0,01 < *P* ≤ 0,05.

### 3.3.2 Acide gras de novo, C16 et préformés

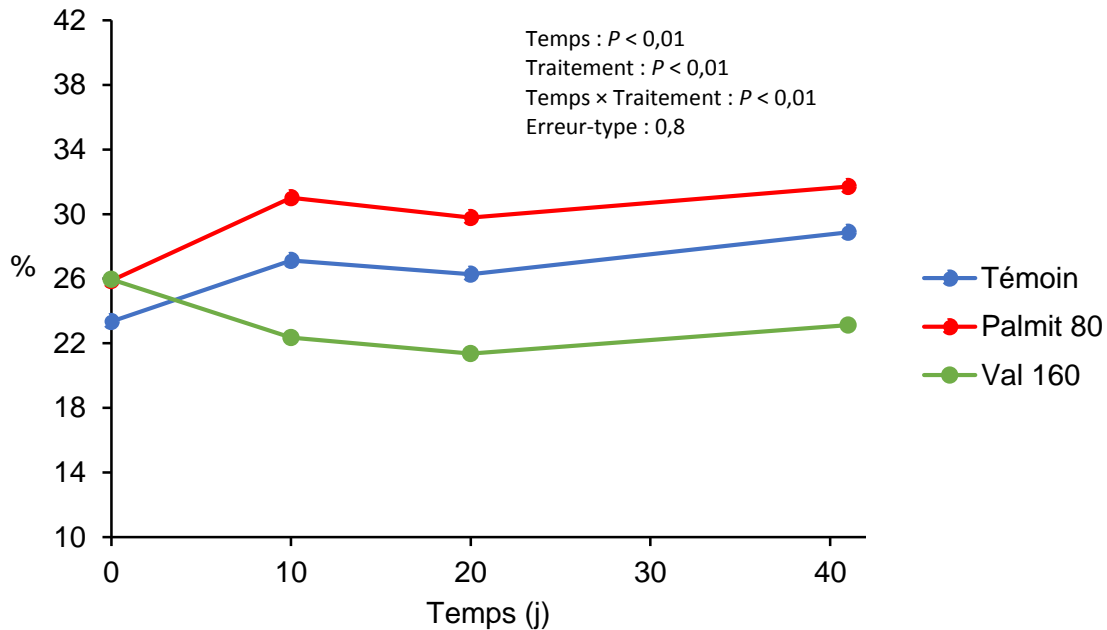
La supplémentation lipidique chez des chèvres a eu des effets sur la concentration des acides gras *de novo* (synthétisés par la glande mammaire), de la somme des acides gras à 16 carbones et des acides gras préformés du lait (prélevés de la circulation sanguine) (tableau 4). On observe que la concentration des acides gras *de novo* a évolué différemment entre les traitements ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ). Comparativement aux chèvres du groupe Témoin, où la concentration des acides gras *de novo* est stable au fil des 41 jours de traitement, celle des chèvres supplémentées avec du gras diminue. La figure 5 nous montre qu'à partir du 20<sup>e</sup> jour de traitement, la teneur en acides gras *de novo* est significativement plus faible comparée aux valeurs préexpérimentales pour les traitements Palmit 80 et Val 160, les valeurs pour ces 2 groupes n'étant toutefois pas différentes entre elles.



**Figure 5** : Évolution de la synthèse des acides gras de novo du lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

Comparativement aux chèvres du groupe Témoin, la somme des acides gras à 16 carbones a été plus élevée (augmentation de 12 %) chez les chèvres recevant le supplément Palmit 80, contenant majoritairement de l'acide palmitique (C16:0) et plus

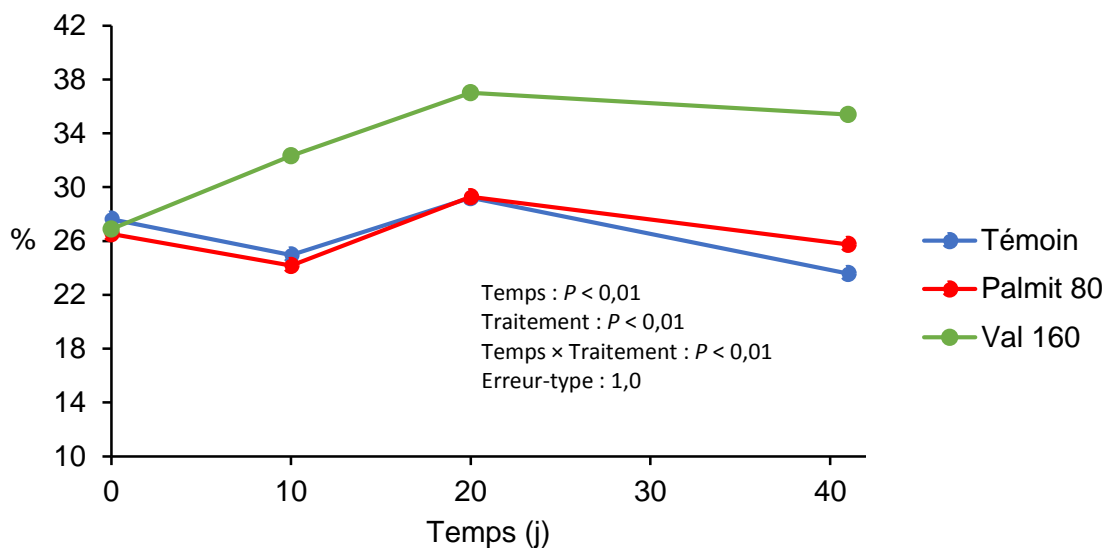
faible (baisse de 20 %) chez les chèvres recevant le supplément Val 160. À la figure 6, on observe que l'évolution dans le temps de la concentration des acides gras à 16 carbones des 3 traitements est différente ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ). En effet pour le traitement Palmit 80, cette concentration a atteint rapidement un plateau au 10<sup>e</sup> jour alors qu'elle a progressivement diminué jusqu'au 20<sup>e</sup> jour d'expérimentation pour le traitement Val 160. Quant au groupe Témoin, la concentration en acides gras à 16 carbones a connu une légère augmentation qui est devenue significative au jour 41.



**Figure 6** : Évolution de la somme des acides gras à 16 carbones dans le lait de chèvre ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

En ce qui concerne la concentration des acides gras préformés du lait, les chèvres du traitement Témoin et Palmit 80 ont montré des concentrations similaires entre eux et stables dans le temps, contrairement à celles ayant reçu le traitement Val 160 pour qui la teneur en ces acides gras a augmenté graduellement jusqu'au jour 20 ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ; figure 7).





**Figure 7** : Évolution de la concentration des acides gras préformés de chèvres ayant reçu des rations sans supplément lipidique (Témoin), avec un supplément lipidique de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

Il est reconnu que l'augmentation des apports en acides gras dans la ration provoque l'inhibition de la synthèse *de novo* des acides gras par la glande mammaire (Palmquist, 2006). Cela pourrait expliquer la diminution des teneurs en acides gras à courte et moyenne chaîne retrouvées dans le lait des chèvres recevant les traitements Palmit 80 et Val 160. Quant à la différence observée pour la concentration en acides gras à 16 carbones dans le lait des chèvres recevant ces 2 suppléments lipidiques, elle s'explique par le fait qu'en général, ces acides gras trouvent leur origine à parts égales de la synthèse *de novo* et de la circulation sanguine. Or, puisque l'augmentation des concentrations en acides gras dans la circulation sanguine se traduit par une inhibition de la synthèse *de novo*, la synthèse par la glande mammaire des acides gras à 16 carbones aura été diminuée chez les chèvres recevant l'un ou l'autre des suppléments lipidiques. Toutefois, cette diminution aura été largement compensée par les apports exogènes en C16:0 dans le traitement Palmit 80 comparativement au Val 160.

### 3.3.3 Acides gras polyinsaturés $\omega$ -6 et $\omega$ -3

Les chèvres du groupe Témoin ont consommé une plus faible quantité d'acides gras que celles des traitements contenant un supplément lipidique. De plus, aucune différence significative n'a été observée entre les chèvres recevant une des 2 sources de gras. Par

ailleurs, selon le traitement appliqué, la composition en acides gras polyinsaturés des RTM n'était pas la même (tableau 2). Les principaux acides gras contenus dans la graine de lin extrudée sont le C18:2 *cis*-9, *cis*-12 et le C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15. De ce fait, et puisque la prise alimentaire était similaire entre les traitements, les chèvres recevant le supplément Val 160 ont ingéré de plus grandes quantités de ces acides gras que les chèvres du groupe Témoin ou recevant le supplément Palmit 80 (tableau 5).

Peu importe le supplément lipidique, les sécrétions dans le lait des acides gras C18:2 *cis*-9, *cis*-12 et des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -6 totaux n'étaient pas différentes entre les traitements. Toutefois, comparativement aux groupes Témoin et Palmit 80, les chèvres du groupe Val 160 ont sécrété dans leur lait davantage de C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 et d'acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 totaux ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ).

On observe aussi que l'efficacité de transfert du C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 et de la somme des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 évolue différemment selon les traitements ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ). Les figures 8a et 8b montrent que lorsqu'on augmente la quantité ingérée de C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 et d'acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 (Val 160) chez les chèvres, l'efficacité à transférer ces acides gras dans le lait diminue. Cette baisse d'efficacité de transfert des acides gras alimentaires peut s'expliquer, du moins partiellement, par la biohydrogénation de ces acides gras dans le rumen, qui est d'ailleurs confirmée par l'augmentation de la teneur des différents isomères de la biohydrogénation retrouvés dans le lait des chèvres recevant le Val 160 comparativement aux autres traitements (tableau 4). Dans cette étude, chez les chèvres recevant le traitement Val 160, les efficacités de transfert du C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 et des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 de la ration au lait étaient diminuées à partir du 10<sup>e</sup> jour de traitement et se sont maintenues pour le reste de la période expérimentale à des valeurs plus faibles que celles observées pour les autres traitements ( $P_{\text{temps} \times \text{traitement}} < 0,01$ ).

**Tableau 5 :** Ingestion, sécrétion et efficacité de transfert de l'alimentation vers le lait des acides gras polyinsaturés de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

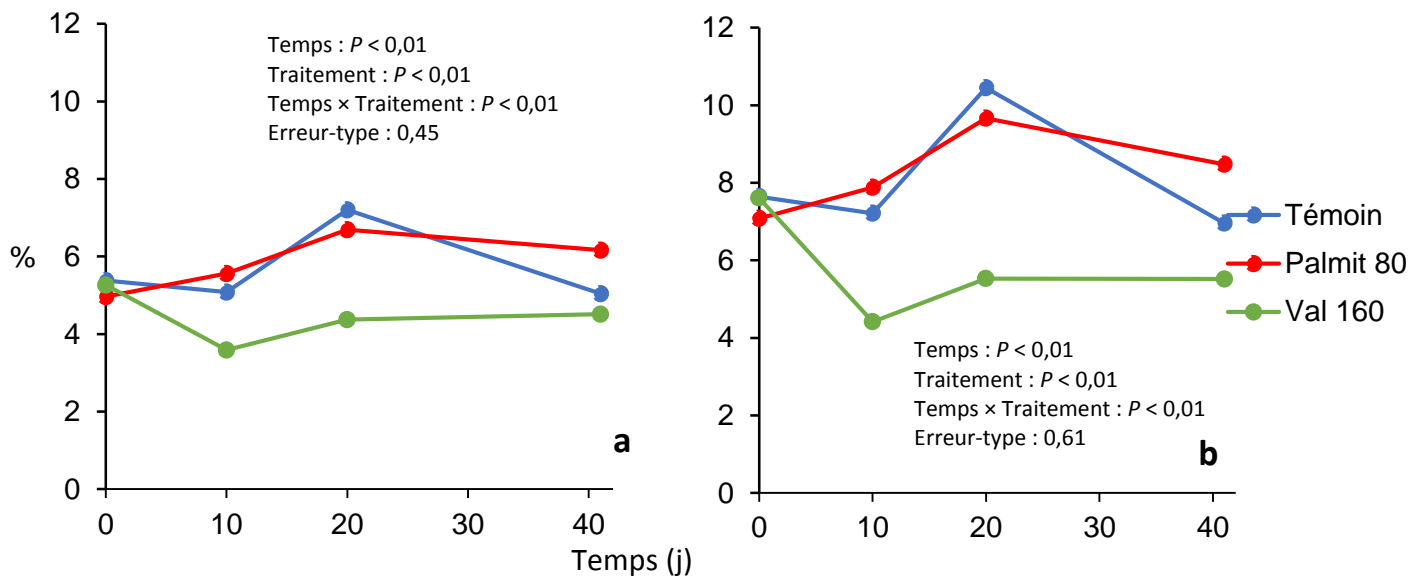
Paramètre	Traitement			ET <sup>1</sup>	Valeur de P Traitement <sup>4</sup>
	Témoin	Palmit 80	Val 160		
Ingérés, g/j					
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 ( $\omega$ -6)	27,0b	23,7b	34,5a	1,4	<0,01**
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 ( $\omega$ -3)	21,1b	19,6b	50,1a	1,2	<0,01**
Acides gras totaux	79,2b	113,8a	131,0a	6,6	<0,01**
Sécrétés dans le lait, g/j					
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 ( $\omega$ -6)	3,07	3,42	3,55	0,24	0,29
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 ( $\omega$ -3)	1,26b	1,23b	2,23a	0,14	<0,01**
Acides gras polyinsaturés $\omega$ -6 totaux <sup>2</sup>	3,26	3,62	3,73	0,25	0,31
Acides gras polyinsaturés $\omega$ -3 totaux <sup>3</sup>	1,79b	1,74b	2,79a	0,18	<0,01**
Efficacité de transfert, %					
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 ( $\omega$ -6)	12,2ab	14,3a	10,4b	0,8	0,01*
C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 ( $\omega$ -3)	6,18a	6,32a	4,48b	0,41	0,01**
Acides gras polyinsaturés $\omega$ -6 totaux	12,9ab	15,1a	10,9b	0,9	0,01*
Acides gras polyinsaturés $\omega$ -3 totaux	8,74a	8,91a	5,62b	0,51	<0,01**

<sup>1</sup>ET = erreur-type.

<sup>2</sup>Somme des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -6 (C18:2 *cis*-9, *cis*-12, C18:3 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12, C20:2 *cis*-11, *cis*-14, C20:3 *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14, C20:4 *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14, *cis*-17, C22:2 *cis*-13, *cis*-16 et C22:4 *cis*-7, *cis*-10, *cis*-13, *cis*-16)

<sup>3</sup>Somme des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, C18:4 *cis*-6, *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, C20:3 *cis*-11, *cis*-14, *cis*-17, C20:4 *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14, *cis*-17, C20:5 *cis*-5, *cis*-8, *cis*-11, *cis*-14, *cis*-17, C22:3 *cis*-13, *cis*-16, *cis*-19, C22:5 *cis*-7, *cis*-10, *cis*-13, *cis*-16, *cis*-19 et C22:6 *cis*-4, *cis*-7, *cis*-10, *cis*-13, *cis*-16, *cis*-19)

<sup>4</sup>Interaction temps x traitement : \*\* $P \leq 0,01$ ; \* $0,01 < P \leq 0,05$ .



**Figure 8 :** Évolution de l'efficacité de transfert de C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 (a) et des acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 (b) de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

### 3.4 Paramètres ruminiaux

Il est connu que plus on augmente la quantité de concentrés dans la ration, plus le pH ruminal diminue et favorise la fermentation amylolytique au détriment de la fermentation fibrolytique. Les bactéries amylolytiques sont responsables de la dégradation de l'amidon et elles produisent non seulement de l'acétate, mais également du propionate et de l'acide lactique. Conséquemment, lorsque la proportion de concentrés augmente dans la ration, il y a un changement au niveau de la flore ruminale et les proportions d'AGV dans le rumen se retrouvent alors modifiées. Cela dit, contrairement à ce qui était attendu, la transition entre l'apport d'un régime contenant 45 % à 55 % de concentrés n'a pas eu d'effet sur le pH ruminal des chèvres ( $P_{\text{temps}} = 0,29$ ). Ces résultats sont contradictoires avec ceux de Serment *et al.* (2011) qui ont observé une baisse significative du pH ruminal chez des chèvres recevant un régime contenant 60 % de concentrés après seulement 4 semaines de traitement.

Quoique le pH ruminal ait été stable entre les périodes de collecte, l'augmentation des concentrés dans la ration a eu un impact sur le profil en AGV du contenu ruminal des chèvres. Les proportions de propionate et de butyrate ont augmenté au détriment de celle de l'acétate dans le temps ( $P_{\text{temps}} < 0,01$ ). Tous traitements confondus, les proportions moyennes de propionate et de butyrate sont passées de  $17,9 \pm 0,7$  % et de  $10,4 \pm 0,5$  % pendant la période préexpérimentale à 20,3 % et 12,9 % après 41 jours de traitement. Quant à la proportion moyenne d'acétate, elle est passée de  $68,1 \pm 1,1$  % à 62,2 %. Les changements observés dans les proportions d'AGV se sont traduits par une diminution du rapport acétate : propionate dans le temps ( $P_{\text{temps}} < 0,01$ ). À la période préexpérimentale, le rapport acétate : propionate moyen était de  $4,2 \pm 0,2$  et a diminué à 3,2 au 41<sup>e</sup> jour. Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour les AGV majeurs du contenu ruminal (tableau 6).

**Tableau 6 :** pH et acides gras volatils du contenu ruminal de chèvres ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

Paramètre	Traitement			ECM <sup>1</sup>	Valeur de P
	Témoin	Palmit 80	Val 160		Traitement <sup>2</sup>
pH	6,32	6,32	6,34	0,05	0,93
Acides gras volatils, mol/100 mol d'AGV					
Acétate	68,60	69,70	65,40	2,10	0,23
Propionate	17,70	17,10	19,40	1,38	0,47
Isobutyrate	1,02	0,97	1,11	0,07	0,12
Butyrate	10,50	9,60	11,30	0,80	0,22
Isovalérate	1,13	1,10	1,23	0,07	0,22
Valérate	1,01	0,99	1,14	0,07	0,15
Caproate	0,41	0,36	0,37	0,04	0,69
Acétate:Propionate	4,29	4,48	3,69	0,49	0,47

<sup>1</sup>ET = erreur-type.

<sup>2</sup>Interaction temps x traitement : \*\* $P \leq 0,01$ ; \* $0,01 < P \leq 0,05$ .

### 3.5 Résultats technico-économiques

Considérant le prix de chaque ingrédient, la RTM du groupe Témoin a été servie au coût de 0,39 \$/kg alors que des coûts respectifs de 0,43 \$ et 0,44 \$/kg ont été assumés lorsque du Palmit 80 et du Val 160 étaient incorporés aux rations (tableau 7). L'usage du supplément Palmit 80, dans un contexte où les chèvres en début lactation ont ingéré une ration acidogène, a amélioré la marge brute par rapport à celle du groupe Témoin. L'avantage économique a été en moyenne de 0,35 \$/tête/jour. Ce bénéfice s'explique principalement par la production laitière des chèvres et la teneur en matières grasses du lait plus élevées pour le traitement Palmit 80. Ce supplément est une alternative intéressante pour les producteurs puisqu'elle permet de réduire l'impact négatif qui survient lorsque les chèvres consomment de hauts niveaux de concentrés en début de lactation.

Quant à l'usage d'un supplément de gras insaturé à base de graine de lin extrudée (Val 160), l'impact sur la marge brute est plutôt négatif par rapport au groupe Témoin puisqu'on note une perte en moyenne de 0,15 \$/tête/jour. Les calculs technico-économiques de la présente étude ne considèrent toutefois pas les effets positifs que la

graine de lin peut avoir sur la santé des animaux. Dans l'étude de Petit et Twagiramungu (2006) par exemple, les animaux qui ont ingéré du lin entier avaient de meilleures performances reproductives. Cela dit, malgré une amélioration de la teneur en matières grasses du lait des chèvres (tableau 3), l'ajout du Val 160 à la ration des chèvres, dans des conditions où des rations riches en concentrés sont servies, n'a pas permis d'améliorer la marge brute par rapport au groupe Témoin.

**Tableau 7** : Calcul des charges reliées à l'alimentation, au revenu de la vente de lait et à la marge brute pour de chèvres laitières ayant reçu des rations sans supplément de gras (Témoin), avec un supplément de gras saturé (Palmit 80) et avec un supplément de gras insaturé (Val 160).

Paramètre	Traitement		
	Témoin	Palmit 80	Val 160
Charges reliées à l'alimentation			
Ration totale mélangée, \$/kg <sup>1</sup>	0,39	0,43	0,44
Ration totale mélangée, \$/tête/j	1,39	1,38	1,46
Produits <sup>2</sup>			
Matière grasse, \$/tête/j	1,62	1,84	1,65
Protéine, \$/chèvre/j	3,40	3,50	3,31
Lactose et autres solides, \$/tête/j <sup>3</sup>	0,68	0,71	0,65
Revenu de vente de lait, \$/tête/j <sup>4</sup>	5,70	6,04	5,61
Marge brute, \$/tête/j <sup>5</sup>	4,30	4,66	4,15
Différence par rapport au témoin, \$/tête/j		+0,35	-0,15

<sup>1</sup>Considère le coût des intrants qui composent les rations totales mélangées sur une base tel que servi (ensilage de luzerne 0,094\$/kg; orge moulue 0,296\$/kg; fin gluten de maïs 0,850\$/kg; tourteau de lin 1,126\$/kg; son de blé 0,645\$/kg; Palmit 80 2,04\$/kg; Val 160 1,41\$/kg; minéraux et vitamines 0,96\$/kg). Le prix de l'ensilage de luzerne a été tiré du feuillet « Références économiques Chèvres laitières AGDEX a435/821d, juin 2014, révisé en 2016 et 2017 ».

<sup>2</sup>Prix des composants selon la convention de la mise en marché du lait de chèvre 2015 (9,2777 \$/kg de matières grasses, 20,0593 \$/kg de protéines et 2,6313 \$/kg de lactose et autres solides).

<sup>3</sup>Lactose et autres solides = production laitière × (taux de lactose + autres solides (0,9759))

<sup>4</sup>Somme des revenus de vente de lait

<sup>5</sup>Marge brute = revenu de la vente de lait - charges reliées à l'alimentation

## CONCLUSION

La consommation de rations riches en concentrés (55 % MS) pour réduire le déficit énergétique des chèvres en début lactation a eu des répercussions sur les performances laitières des chèvres et sur la composition du lait. Quant aux suppléments lipidiques, ils ont limité la chute de la teneur en matières grasses du lait ainsi que du rapport matières grasses : protéines. De plus, la composition en acides gras du lait des chèvres a été affectée, reflétant partiellement le profil en acides gras du supplément lipidique utilisé. Une concentration plus élevée en C16:0 a été observée chez les chèvres ayant reçu le supplément Palmit 80, un sous-produit dérivé de l'huile de palme riche en acide palmitique, alors que la teneur en acides gras polyinsaturés  $\omega$ -3 était plus élevée dans le lait des chèvres ayant reçu le supplément Val 160, à base de la graine de lin extrudée riche en C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15.

Selon les données technico-économiques de cette étude, l'usage du supplément Palmit 80 serait un moyen rentable pour améliorer le revenu de la vente de lait des producteurs lorsque des rations riches en concentrés sont servies aux chèvres en début de lactation. En effet, la marge brute (revenu de vente de lait - coût d'alimentation), par rapport à une ration sans ajout de gras, a été supérieure de 0,35 \$/tête/jour lorsque ce produit était utilisé. Ce supplément de gras saturé pourrait aussi aider les transformateurs à résoudre la problématique technologique de l'industrie fromagère caprine, lorsque des inversions de composants du lait surviennent chez les producteurs. Cependant, le choix de la source de gras à incorporer à la ration des chèvres est important puisque la réponse des animaux en période de risque d'acidose ruminale pourrait varier selon le supplément lipidique utilisé. Lorsque seules les performances laitières sont prises en considération, l'analyse technico-économique montre que l'usage du supplément Val 160 ne permet pas d'améliorer la marge brute par rapport à la ration sans ajout de gras.

# RÉFÉRENCES

AOAC International, 2000, Official Methods of Analysis, 16th ed, AOAC International, Gaithersburg, MD.

AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed, AOAC International, Arlington, VA.

Bauman, D.E. et J.M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23 : 203 -227

Bauman, D. E., B. A. Corl et D. G. Peterson. 2003. The biology of conjugated linoleic acids in ruminants. Pages 146–173 dans : *Advances in conjugated linoleic acid research*, Volume. 2. Sebedio, J.-L., W. W. Christie et R. O. Adlof, (éd.). AOCS Press, Champaign, IL, États-Unis.

Bendel E. et R. Bettex. 2012. Résultats d'un essai d'une complémentation de lin extrudé TradiLin® sur un groupe de chèvres laitières en conditions réelles. [En ligne]. <http://www.tradilin.ch/ocomms/download/396>. Page consultée le 16 février 2016.

Boivin, M., R. Gervais et P. Y. Chouinard. 2013. Effect of grain and forage fractions of corn silage on milk production and composition in dairy cows, *Animal* 7 : 245-254.

Brunelle, C. [cbrunelle@valacta.com] février 2016. Courriel électronique personnel.

Chilliard Y., J. Rouel et P. Guillouet. 2013. Goat alpha-s1 casein genotype interacts with the effect of extruded linseed feeding on milk fat yield, fatty acid composition and post-milking lipolysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185 : 140 - 149.

Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, C. Duvaux-Ponter et D. Sauvant. 2009. Modeling of off-feed periods caused by subacute acidosis in intensive lactating ruminants : Application to goats. *J. Dairy Sci.* 92 : 3894 -3906.

Dion, S., M.E. Brassard, J. Lévesque, J. Vary, D.E. Rico, R. Gervais et P.Y. Chouinard. 2017. L'acidose chez la chèvre laitière et l'usage du carbonate de potassium (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) : impact sur les composantes du lait et la production. Rapport final, Québec : Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), 25 p.

Eknaes, M., Y. Chilliard, K. Hove, R.A. Inglingstad, L. Bernard et H. Volden. 2017. Feeding of palm oil fatty acids or rapeseed oil throughout lactation : Effects on energy status, body composition, and milk production in Norwegian dairy goats. *J. Dairy Sci.* 100 : 7588-7601.

Fauteux, M.-C., R. Gervais, D. E. Rico, Y. Lebeuf et P. Y. Chouinard. 2016. Production, composition, and oxidative stability of milk highly enriched in polyunsaturated fatty acids from dairy cows fed alfalfa protein concentrate or supplemental vitamin E. *J. Dairy Sci.* 99 : 4411–4426.

Hall, M. B. 2009. Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds : Comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study, *AOAC Int.* 92 : 42–49.



Huo W., W. Zhu et S. Mao. 2014. Impact of subacute ruminal acidosis on the diversity of liquid and solid-associated bacteria in the rumen of goats. *World J. Microb. Biot.* 30 : 669-680.

Kleen J.L., G.A. Hooijer, J. Rehage et J.P.T.M. Noordhuizen. 2003. Subacute ruminal acidosis (SARA) : A review. *J. Vet. Med. Series A.* 50 : 406-414.

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. *J. Dairy Sci.* 96 : 6650 -6659

Madsen, T. G., M. O. Nielsen, J. B. Andersen et K. L. Ingvarsten. 2008. Continuous lactation in dairy cows : effect on milk production and mammary nutrient supply and extraction. *J. Dairy Sci.* 91 : 1791-1801.

Mavrogenis, A. P. et C. Papachristoforou. 1988. Estimation of the energy value of milk and prediction of fat-corrected milk yield in sheep and goats, *Small Rumin. Res.* 1 : 229-236.

Morand-Fehr, P., Fedele V., Decandia M. et Y. Le Frileux. 2007. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68 : 20 -34.

Palmquist, D. L. 2006. Milk fat : Origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. Pages 43-92 dans: *Advanced Dairy Chemistry. Vol.2: Lipids*, 3rd Edition. Fox P. F et P. L. H. McSweeney (éd.). Springer, New York, NY, États-Unis.

Petit, H. V. et Twagiramungu, H. 2006. Conception rate and reproductive function of dairy cows fed different fat sources. *Theriogenology* 66 : 1316-1324

Renna M., C. Lussiana, M. D'Agostino, A. Mimosi et R. Fortina. 2013. Extruded linseed supplementation in dairy goat diet: Effects on productive performance and fatty acid profile of bulk milk, fresh and ripened cheese. *J. Anim. Vet. Advances* 12 (20) : 1550-1564.

Rico D.E., Y. Ying et K. J. Harvatine. 2014. Comparison of enriched palmitic acid and calcium salts of palm fatty acids distillate fat supplements on milk production and metabolic profiles of high-producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97 : 5637 -5644.

Serment, A., P. Schmidely, S. Giger-Reverdin, P. Chapoutot et D. Sauvant. 2011. Effects of the percentage of concentrate on rumen fermentation, nutrient digestibility, plasma metabolites, and milk composition in mid-lactation goats. *J. Dairy Sci.* 94 : 3960-3972.

Schmidely P. et D. Sauvant. 2001. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré. *INRA Prod. Anim.* 14 (5) : 337-354.

Schmidely P., P. Morand-Fehr et D. Sauvant. 2005. Influence of extruded soybeans with or without bicarbonate on milk performance and fatty acid composition of goat milk. *J. Dairy Sci.* 88 : 757-765.

Tedeschi, L.O., A. Cannas et D.G. Fox. 2010. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: the development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Rum. Res.* 89 :174-184.