



**HAL**  
open science

# Influence of percentage of concentrate and dietary fat supplementation on duodenal flow of fat and on milk fat composition in response to t10,c12-CLA infusion in dairy goats

Patricia Vilhena Dias de Andrade

## ► To cite this version:

Patricia Vilhena Dias de Andrade. Influence of percentage of concentrate and dietary fat supplementation on duodenal flow of fat and on milk fat composition in response to t10,c12-CLA infusion in dairy goats. Life Sciences [q-bio]. INAPG (AgroParisTech), 2006. English. NNT : 2006INAP0004 . pastel-00001929

**HAL Id: pastel-00001929**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00001929>**

Submitted on 28 Sep 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON



Ecole Doctorale ABIES

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon

présentée et soutenue publiquement par

Patricia VILHENA DIAS DE ANDRADE

le 5 juillet 2006

Influence du pourcentage de concentré et de l'apport lipidique  
sur les flux duodénaux de lipides et sur la composition de la  
matière grasse laitière en réponse à l'infusion de t10,c12-CLA  
chez la chèvre laitière

Directeur de thèse

Philippe SCHMIDELY

Devant le jury composé de :

Daniel SAUVANT	Professeur, INA P-G	Président du jury
Harry ARCHIMEDE	Directeur de Recherches, INRA	Rapporteur
Francis ENJALBERT	Professeur, ENV Toulouse	Rapporteur
Anne OFFNER	Responsable R&D, Sté Cybelia-Glon	Examineur
Yves CHILLIARD	Directeur de Recherches, INRA	Examineur
Philippe SCHMIDELY	Professeur, INA P-G	Directeur de thèse

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée à parcourir le long chemin de la thèse. Mes remerciements vont plus particulièrement :

- au Professeur Philippe SCHMIDELY, mon encadrant, pour son implication personnelle, sa grande disponibilité et ses orientations qui ont ponctué ces années de thèse. J'espère reproduire cet excellent exemple d'encadrement dans mon futur métier.

- au Professeur Daniel SAUVANT qui m'a accueilli au sein de son équipe et m'a permis d'effectuer ces années d'étude en France.

- au Professeur Francis ENJALBERT et au Directeur de Recherches Harry ARCHIMEDE pour leur lourd travail de révision de ce document.

- aux Directeur de Recherches Yves CHILLIARD et au Docteur Anne OFNER pour avoir accepté de participer au jury de cette thèse. A Anne, merci pour tous les conseils au début de la thèse.

- à Hélène ALBARELLO, pour tous les dosages d'acides gras (et ils ont été nombreux...), à Françoise TERNOIS, pour les analyses de plasma, à Marie-Claude NICOT, pour les déterminations de chrome et à Annie ROUZEAU, qui m'a présenté la chromatographie.

- à Joseph TESSIER, Alexandra EYMARD et toute l'équipe de la chèvrerie pour leur 'super' boulot et l'accueil très chaleureux.

- à Valérie BERTHELOT et Olivier MARTIN qui m'ont accueilli dans leur bureau. A Valérie merci pour toutes les enrichissantes discussions (scientifiques ou non).

- à Sylvie GIGER-REVERDIN qui m'a encadré lors de mes débuts à l'INA PG.

- à Béatrice LAMBOLEY, Frauke UDE, Laurent BROUDISCOU et Pierre BAS qui ont contribué à rendre mon séjour au labo encore plus agréable.

- au CNPq (Conseil National de la Recherche Scientifique et Technique - Ministère de la Science et Technologie, Brésil) pour leur soutien financier.

- aos meus pais, João e Maristela, que mesmo de longe, sempre estiveram ao meu lado. A Beta, pela grande ajuda na reta final.

- et bien sûr, à Theo, que je ne remercierais jamais assez, um muito obrigado. Tu es devenu (malgré toi) un 'spécialiste des acides gras'.

---

## Table des matières

---

Introduction Générale.....	13
Partie I : Etude bibliographique .....	17
1. Introduction .....	18
2. Caractéristiques de la base de données .....	21
2.1. Critères pour la sélection des références .....	21
2.2. Caractéristiques des animaux et de l'alimentation de base .....	21
2.3. Caractéristiques des sources lipidiques .....	22
2.4. Données de production et composition du lait des lots témoins .....	23
2.5. Traitement de la base de données.....	25
3. Influence de la supplémentation lipidique sur l'ingestion, la production et la composition du lait .....	27
3.1. Ingestion et production de lait.....	27
3.2. Taux butyreux .....	35
3.3. Taux protéique.....	40
4. Influence de la supplémentation lipidique sur le profil en acides gras du lait .....	42
4.1. Aspects généraux de la synthèse de la matière grasse du lait .....	42
4.1.1. Acides gras synthétisés par la glande mammaire.....	42
4.1.2. Acides gras captés par la glande mammaire .....	43
4.2. Variations du profil en acides gras du lait lors de la supplémentation lipidique .....	45
4.2.1. Acides gras de chaîne courte et moyenne .....	45
4.2.2. Acides gras à chaîne longue .....	52
5. Conclusions .....	67
Partie II. Etudes Expérimentales .....	68
1. Principales caractéristiques des expérimentations .....	69
1.1. Animaux et régimes .....	69
1.2. Mesures et prélèvements .....	70
2. Aspects zootechniques (Articles 1 et 2) .....	72
2.1. Expérimentation 1 (Article 1) .....	72
Abstract .....	72
2.1.1. Introduction .....	73
2.1.2. Materials and methods .....	74
2.1.3. Results .....	77
2.1.4. Discussion .....	85
2.1.5. Conclusions .....	90
2.2. Expérimentation 2 (Article 2) .....	91
Abstract .....	91

2.2.1. Introduction .....	92
2.2.2. Materials and methods .....	93
2.2.3. Results .....	95
2.2.4. Discussion .....	100
2.2.5. Conclusions .....	104
3. Aspects digestifs (Article 3) .....	105
3.1. Introduction .....	105
3.2. Matériel et méthodes .....	107
3.3. Résultats .....	110
3.3.1. Expérimentation 1 .....	110
3.3.1. Expérimentation 2 .....	119
3.4 Discussion .....	128
3.5. Conclusions .....	144
4. Aspects métaboliques (Articles 4 et 5) .....	146
4.1. Expérimentation 1 (Article 4) .....	146
Abstract .....	146
4.1.1. Introduction .....	147
4.1.2. Materials and Methods .....	148
4.1.3. Results .....	153
4.1.4. Discussion .....	163
4.2. Expérimentation 2 (Article 5) .....	168
Abstract .....	168
4.2.1. Text.....	168
4.2.2. Données non présentées dans l'article .....	175
Discussion générale.....	177
Conclusions et Perspectives .....	192
Références bibliographiques .....	195
Annexes .....	218

---

## Liste des Abréviations

---

Acide gras	AG	Fatty acid	FA
Acides gras polyinsaturés	AGPI	Polyunsaturated fatty acid	PUFA
Acides gras totaux	AGT	-	-
Acides gras volatils	AGV	Volatile fatty acid	VFA
Acide linoléique conjugué	CLA	Conjugated linoleic acid	CLA
Biohydrogénation ruminale (calculé)	BH <sub>2</sub>		
Extrait éthéré	EE	-	-
Matière grasse du lait	MG	-	-
Matière sèche	MS	Dry matter	DM
Matière sèche ingérée	IMS	Dry matter intake	DMI
Oléo-protéagineux	OP	-	-
Poids vif	PV	Body weight	BW
Production de lait	PL	Raw milk yield	RMY
Production de lait corrigé	PL4	Fat corrected milk	FCM
Protéine brute	PB	Crude protein	CP
Rapport concentré/fourrage	C/F	Concentrate/forage ratio	C/F
Rapport acétate/propionate	A/P	Acetate/propionate ratio	A/P
Taux butyreux du lait	TB	Milk fat content	MFC
Taux protéique du lait	TP	-	-

---

## Liste des Tableaux

---

### Partie I : Etude bibliographique

<b>Tableau B1:</b> Principaux oléo-protéagineux représentés dans la base de données et leurs formes de présentation <sup>1</sup> .....	22
<b>Tableau B2:</b> Profil en AG des principaux oléo-protéagineux représentés dans la base de données <sup>1</sup> .....	22
<b>Tableau B3:</b> Principaux traitements technologiques appliqués aux graines d'oléo-protéagineux <sup>1</sup> .....	23
<b>Tableau B4:</b> Performances laitières des vaches alimentées avec des rations sans lipides ajoutés (lots témoins) <sup>1</sup> .....	24
<b>Tableau B5:</b> Profil en AG du lait des vaches laitières alimentées avec des rations sans lipides ajoutés (lots témoins) <sup>1</sup> .....	25
<b>Tableau B6:</b> Effet de l'apport des lipides sur l'écart des performances laitières des vaches alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux, selon le stade de lactation <sup>1</sup> .....	28
<b>Tableau B7:</b> Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur les caractéristiques de performances laitières des vaches <sup>1</sup> .....	32
<b>Tableau B7</b> (continuation).....	33
<b>Tableau B8:</b> Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur les caractéristiques de performances laitières des vaches <sup>1</sup> .....	34
<b>Tableau B9 :</b> Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou en huiles d'oléo-protéagineux <sup>1</sup> .....	46
<b>Tableau B10:</b> Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières <sup>1</sup> .....	49
<b>Tableau B10</b> (continuation).....	50
<b>Tableau B11:</b> Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières <sup>1</sup> .....	51
<b>Tableau B12:</b> Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG longs dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou en huiles d'oléo-protéagineux <sup>1</sup> .....	52
<b>Tableau B13:</b> Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG longs dans le lait des vaches laitières <sup>1</sup> .....	56
<b>Tableau B13</b> (continuation).....	57
<b>Tableau B14 :</b> Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG longs dans le lait des vaches laitières. ....	58
<b>Tableau B15:</b> Effet de l'apport de lipides sur la modification de l'activité de la $\Delta^9$ -désaturase dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux <sup>1</sup> .....	60
<b>Tableau B16 :</b> Teneurs en t10-C18:1, t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 dans le lait de vache et de chèvre selon le pourcentage de concentré (bas vs. haut) et l'apport lipidique (témoin vs. supplémentés).....	65

<b>Tableau B17</b> : Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG impairs dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux <sup>1</sup> .....	66
--	----

## Partie II. Etudes Expérimentales

### 2.1. Expérimentation 1 (Article 1)

<b>Table 1</b> : Ingrédients of the low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds.....	75
<b>Table 2</b> : Chemical composition, nutritional values and fatty acid profile of the low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds <sup>1</sup> .....	78
<b>Table 3</b> : Production parameters of dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds <sup>1</sup> .....	79
<b>Table 4</b> : Fermentation characteristics in the ruminal fluid collected before and 3 h after feeding in dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds <sup>1</sup> .....	81
<b>Table 5</b> : Fatty acid profile of milk fat from dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds <sup>1</sup> .....	83

### 2.2. Expérimentation 2 (Article 2)

<b>Table 1</b> : Ingrédients of the low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS).....	94
<b>Table 2</b> : Chemical composition and fatty acid profile of the low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS) <sup>1</sup> .....	96
<b>Table 3</b> : Production parameters of dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS) <sup>1</sup> .....	97
<b>Table 4</b> : Fatty acid profile of milk fat from dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS) <sup>1</sup> .....	98
<b>Table 5</b> : <i>Trans</i> -C18:1 profile of milk fat from dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS) <sup>1</sup> .....	99

### 3. Aspects digestifs (Article 3)

<b>Tableau F1</b> : Composition chimique et profil en AG des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées.....	110
<b>Tableau F2</b> : Ingestion quotidienne des nutriments et de certains AG des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> .....	111
<b>Tableau F3</b> : Composition des contenus duodénaux et des fèces chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> ...	113
<b>Tableau F4</b> : Flux et digestibilité de la matière sèche, NDF et ADF chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> ...	114
<b>Tableau F5</b> : Teneurs, flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> .....	115



<b>Tableau F6</b> : Profil en AG des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> .	117
<b>Tableau F7</b> : Profil en AG <i>trans</i> -C18:1 des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoin - CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> .	118
<b>Tableau F8</b> : Flux duodénaux de certains des AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas ou haut pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (CS0) avec des graines de colza laminées <sup>1</sup> .	119
<b>Tableau F9</b> : Composition chimique et profil en AG des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB).	120
<b>Tableau F10</b> : Ingestion quotidienne des nutriments et de certains AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	121
<b>Tableau F11</b> : Composition des contenus duodénaux et des fèces chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	122
<b>Tableau F12</b> : Flux et digestibilité de la matière sèche, NDF et ADF chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	123
<b>Tableau F13</b> : Flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	124
<b>Tableau F14</b> : Profil en AG des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou à haut pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	125
<b>Tableau F15</b> : Profil en AG <i>trans</i> -C18:1 des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB) <sup>1</sup> .	126
<b>Tableau F16</b> : Flux duodénaux de certains des AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB).	128
<b>Tableau F17</b> : Biohydrogénation ruminale des AG à 18 C chez les chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) des graines de colza laminées.	135
<b>Tableau F18</b> : Biohydrogénation ruminale des AG à 18 C chez les chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza	

laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudés (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB). ..... 136

#### 4.1. Expérimentation 1 (Article 4)

<b>Table 1:</b> Ingredients and chemical composition of the experimental diets ( $n = 2$ samples for each diet) <sup>1</sup> .....	149
<b>Table 2:</b> Fatty acid profile of experimental diets ( $n = 2$ samples / diet) <sup>1</sup> .....	153
<b>Table 3:</b> Production parameters of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM) <sup>a</sup> .....	155
<b>Table 4:</b> Fatty acid intake of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds <sup>1</sup> .....	156
<b>Table 5:</b> Fatty acid profile (% of total fatty acids) in milk of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM) <sup>1</sup> .....	160
<b>Table 5:</b> (continued).....	161
<b>Table 6:</b> Ratio of fatty acids in milk of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM) <sup>1</sup> .....	162

#### 4.2. Expérimentation 2 (Article 5)

<b>Table 1.</b> Production parameters of mid-lactation dairy goats fed low (L) or high (H) percentage of concentrate diets with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM). .....	173
<b>Table 2.</b> Milk fatty acid profile of mid-lactation dairy goats fed low (L) or high (H) percentage of concentrate diets with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM). .....	174
<b>Table 3:</b> Milk fatty acid profile of mid-lactation dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (CTL) <sup>1</sup> .....	175
<b>Table 3.</b> (continued).....	176

---

## Liste des Figures

---

### Partie I : Etude bibliographique

- Figure B1:** Relation ( $y=0,94+0,73*X$  ;  $r^2=0,73$  ;  $etr=2,21$ ) entre l'écart de PL brute (kg/j) et l'écart de MSI (kg/j) entre lots témoins ou supplémentés selon la forme de présentation des lipides (huiles ou graines). ..... 29
- Figure B2 :** Ecart de TB (%) entre le lait des lots témoins et supplémentés en OP sous forme d'huiles ou de graines selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (A : extrait étheré, B : AGT)..... 35
- Figure B3:** Relation entre TB et proportion des AG *trans*-C18:1 totaux dans la MG du lait chez la vache laitière (données issues des articles 'témoins vs. supplémentés'). ..... 37
- Figure B4 :** Relation entre le TB et les teneurs en t10-C18:1 (A - articles 'témoins vs. supplémentés' ; B - articles 'témoins vs. supplémentés' et articles 'iso-lipides') et en t10,c12-C18:2 dans la MG du lait (C - articles 'témoins vs. supplémentés' ; D - articles 'témoins vs. supplémentés' et articles 'iso-lipides') ..... 38
- Figure B5:** Ecart de TP (, %) entre lots témoins ou supplémentés en OP sous forme d'huile ou de graines selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (A: extrait étheré, B: AGT). ..... 41
- Figure B6 :** Variation des teneurs en AG courts et moyens du lait de vache (C4:0-C14:0, % AGT) selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (% MS). Données issues d'articles évaluant l'influence de la quantité de lipide sur la composition en AG du lait (Clapperton et al. (1980), Smith et al. (1981), Rafalowski et Park (1982), DePeters et al. (1985), Wiesen et al. (1990), Khorasani et al. (1991), Jenkins et Jenny (1992), Khorasani et Kennely (1998) et Givens et al. (2003))..... 47
- Figure B7 :** Relation entre le rapport c9-C18:1/C18:0 et les teneurs en *trans*-C18:1 totaux dans lait (Données issues des articles 'témoins vs. supplémentés')..... 61

### Partie II. Etudes Expérimentales

#### 2.1. Expérimentation 1 (Article 1)

- Figure 1.** Raw milk yield (panel A), milk fat content (panel B) and milk protein content (panel C) from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds. Values presented are means ± SE. . 80
- Figure 2.** Within-goat relationship between the percentage of t11-C18:1 (TVA) and c9,t11-C18:2 FA in milk fat from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds..... 84
- Figure 3.** Within-goat relationship between the percentage of identified *trans*-C18:1 and t11-C18:1 in milk fat from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds..... 85

#### 3. Aspects digestifs (Article 3)

- Figure F1 :** Evolution de la matière sèche duodénale (%) au cours de la journée, selon le régime..... 112
- Figure F2:** Relation globale entre l'ingestion de NDF (A,  $y = 98 + 0,373x$  ;  $r^2=41,2$  ;  $etr=111$ ) et d'ADF (B,  $y = 53,1 + 0,455x$  ;  $r^2=49,1$  ;  $etr=76$ ) les flux duodénaux (g/j) selon le

pourcentage de concentré de la ration de deux expérimentations ( $n=18$ chèvres, mais 2 prélèvements pour les chèvres de l'Exp.1).....	129
<b>Figure F3 :</b> Relation globale entre l'ingestion d'AGT et les flux duodénaux selon l'addition (colza ou soja) ou non (témoin) de lipides à la ration de deux expérimentations ( $n=18$ chèvres, mais 2 prélèvements pour les chèvres de l'Exp.1).....	132
<b>Figure F4:</b> Pourcentages de t10 et de t11-C18:1 par rapport aux <i>trans</i> -C18:1 totaux dans les duodénum des chèvres alimentées avec des régimes à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré sans supplémentation lipidique (CS0) ou avec des graines de colza laminées (CS20) ou des graines de soja extrudées (SB). .....	138
 4.1. Expérimentation 1 (Article 4)	
<b>Figure 1:</b> Temporal pattern of the proportion of t10,c12-C18:2 (panel A) and c9,t11-C18:2 (panel B) in milk from goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●,■) or without (CS0: ○,□) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2 or skim milk (SM). SEM were 0.04 and 0.02 % for the t10,c12-C18:2 and c9,t11-C18:2, respectively. ....	157
<b>Figure 2:</b> Temporal pattern of the proportion of t10-C18:1 (panel A) and t11-C18:1 (panel B) in milk fat from goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●,■) or without (CS0: ○,□) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2 or skim milk (SM). SEM were 0.03 and 0.06 % for the t10-C18:1 and t11-C18:1 respectively.....	158
<b>Figure 3:</b> Within-goat relation between c9,t11-C18:2/t11-C18:1 and t10-C18:1 percentage in milk of goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●,■) or without (CS0:○,□) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2. Each couple of points represents the data by goat before the start of infusion (Basal, start of the arrow) and for the t10,c12-C18:2 infusion (end of the arrow).....	159
 Discussion générale.....	
	177
<b>Figure D1:</b> Relation entre le taux butyreux (TB) du lait de chèvre et les teneurs en t10-C18:1 (% AGT) de la MG du lait. ....	182
<b>Figure D2 :</b> TB (% - A) et teneurs en t10,c12-C18:2 (%AGT - B) du lait de chèvre avant (0) et pendant l'infusion de t10,c12-C18:2 (1, 2, 3) et de lait écrémé (4, 5). Les cercles représentent les valeurs par chèvre et les lignes, les moyennes par expérimentation. ...	183
<b>Figure D3:</b> Relation entre l'ingestion (% MS ou g/j), le flux duodéal (●, %AG duodénaux ou g/j) et la proportion ou la sécrétion dans le lait (■ %AG du lait ou g/j) de c9-C18 :1 chez des chèvres laitières alimentées par différentes combinaisons du pourcentage de concentré et de l'apport de lipides.....	184
<b>Figure D4 :</b> Relation entre flux duodénaux de <i>trans</i> -C18:1 totaux (g/j) et production dans le lait (g/j) selon le régime expérimental.....	185
<b>Figure D5:</b> Relation entre les flux duodénaux de différents isomères de position <i>trans</i> et leur sécrétion dans le lait selon le régime expérimental.....	186
<b>Figure D6:</b> Teneurs en t11-C18:1 de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental. ....	187
<b>Figure D7:</b> Teneurs en c9,t11-C18:2 de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental. ....	188
<b>Figure D8:</b> Relation intra-chèvre entre le rapport c9,t11-C18:2/t11-C18:1 et le pourcentage de t10-C18:1 dans le lait pendant l'infusion de t10,c12-C18:2. Figure A : avant (données	

basales) et pendant l'infusion de CLA ; Figure B : pendant l'infusion de CLA et de témoins. ....	189
<b>Figure D9:</b> Relation entre l'ingestion (g/j), le flux duodéal (●, g/j) et la sécrétion dans le lait (■, g/j) du c9,c12-C18 :2 ou du c9,c12,c15-C18 :3 chez des chèvres laitières alimentées par différentes combinaisons du pourcentage de concentré et de l'apport de lipides. ...	190
<b>Figure D10:</b> Teneurs en AG courts (C4:0-C8:0, %AGT) de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental. ....	191
<b>Figure D11:</b> Teneurs en AG moyens de chaîne pair (C10:0-C14:0, % AGT) de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental. ....	191

# **Introduction Générale**

La matière grasse (MG) fait partie des composants majeurs du lait et elle constitue un des déterminants de sa qualité nutritionnelle, organoleptique, technologique et économique. Du fait de l'accroissement des maladies humaines liées à l'alimentation et plus particulièrement à la consommation de MG, un intérêt croissant est désormais porté sur les qualités nutritionnelles du lait, et la quantité de MG produite n'est plus l'enjeu majeur du secteur laitier. Du fait de la combinaison de plusieurs facteurs techniques, économiques (excès de MG), nutritionnels ou d'image du produit (perception défavorable de la MG animale), les objectifs affichés par la filière 'lait' sont désormais de réduire la production de MG, et de modifier sa composition pour répondre aux questionnements de santé humaine. Ainsi, les orientations scientifiques en jeu visent à réduire la proportion des acides gras (AG) saturés de chaîne moyenne, tout comme celle de certains AG monoènes de configuration *trans*, toutes deux liées au risque des maladies cardiovasculaires (EFSA, 2005). Inversement, l'augmentation de certains AG possédant potentiellement des effets bénéfiques pour la santé humaine est privilégiée (Williams, 2000). Parmi ces AG, des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA), dont les produits issus des ruminants sont des sources importantes dans l'alimentation humaine, ont attiré depuis une dizaine d'années l'attention des nutritionnistes par leurs possibles effets anti-cancérigènes et anti-diabétiques (Bessa et al., 2000, Roche et al., 2001). Enfin, les AG de la série n-3 ou l'accroissement du rapport n-3/n-6 sont aussi associés à des effets positifs pour la santé, plus particulièrement pour ce qui concerne la prévention secondaire des maladies cardiovasculaires (Hooper et al., 2006).

La MG est le composant le plus variable du lait, d'un point de vue quantitatif ou qualitatif. Sa composition et sa production dépendent principalement de facteurs animaux (espèce, race, stade de lactation et caractéristiques individuelles des animaux, Palmquist et al., 1993) ou environnementaux, parmi lesquels l'alimentation constitue le levier le plus efficace et le plus rapide (Palmquist et al., 1993, Kennely, 1996a, Ashes et al., 1997, Chilliard et al., 2001/2003). Le pourcentage de concentré et la supplémentation lipidique sont des facteurs techniquement maîtrisables dans les exploitations laitières. Ils sont couramment utilisés pour augmenter la densité énergétique des rations destinées à des animaux en début de lactation et aux fortes productrices dont les besoins nutritionnels sont très élevés. Chez les vaches laitières, l'influence de ces facteurs sur la production et la composition du lait a été bien étudiée et plusieurs revues exhaustives ont été publiées (à titre d'exemple : Palmquist et al., 1993, Kennely, 1996a, Ashes et al., 1997, Chilliard et al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004). Ces revues montrent que l'augmentation du pourcentage de concentré au-delà de 50% de la matière sèche (MS) de la ration accroît la production laitière, et elle est souvent accompagnée

de chute du TB et d'une augmentation des AG longs au détriment des AG à chaîne moyenne. La supplémentation lipidique a peu d'effet sur la production laitière, mais elle provoque aussi des réductions du TB.

La diminution du taux butyreux (TB) observée lors de l'utilisation de rations riches en concentré et/ou en lipides est surtout une conséquence d'une synthèse réduite de MG dans la mamelle. Les causes de cette réduction sont multiples et liées aux modifications de l'environnement ruminal provoquées par ce type de régime (Bauman et Griinari, 2001). Les AG longs polyinsaturés (AGPI) d'origine alimentaire, ainsi que des AG de configuration *trans* (intermédiaires du métabolisme ruminal des AGPI) peuvent être captés par la glande mammaire et ils diminuent la synthèse des AG à chaîne courte ou moyenne (Bauman et Davis, 1974, Barber et al., 1997, Griinari et al., 1998, Bauman et Griinari, 2001). L'infusion post-ruminale de mélange d'isomères *trans* du C18:1 (Romo et al., 1996) ou de t10,c12-C18:2 (Baumgard et al., 2000) a confirmé que ces AG, principalement le t10,c12-C18:2, sont des puissants inhibiteurs de la synthèse de MG. De plus, Baumgard et al. (2001), ont observé lors de l'infusion de t10,c12-C18:2, d'une part une relation entre la diminution de la synthèse de MG et l'augmentation des teneurs en t10,c12-C18:2 dans le lait, et d'autre part, des modifications du profil en AG du lait similaires à celles observées chez des vaches laitières présentant des chutes du TB induites par l'alimentation.

Les effets de l'apport lipidique sur le TB et sur la composition en AG sont très variables, et ils dépendent de la quantité et des caractéristiques des suppléments lipidiques utilisés. C'est pourquoi la première partie de ce document est consacrée à l'étude bibliographique des modifications de la composition en AG du lait suite à la supplémentation avec des graines d'oléo-protéagineux (OP), mais également aux variations dues à la présentation (sous forme de graine ou d'huile) et à la nature de la source lipidique.

Chez les caprins, l'influence de l'alimentation sur la production et la composition du lait, surtout sur le profil en AG, est moins documentée que chez la vache (Schmidely et Sauvante, 2001, Chilliard et Ferlay, 2004). En dépit d'un nombre croissant de données spécifiques sur les caprins, il apparaît nécessaire d'accroître les connaissances sur les réponses quantitatives et qualitatives de la MG laitière aux variations d'apport alimentaires. Ainsi, il existe un nombre relativement limité de données sur les teneurs des AG *trans* et des CLA du lait de chèvre. Il est par ailleurs établi que, comparativement aux vaches laitières, les chèvres ne présentent pas les mêmes réponses aux variations d'apports alimentaires: contrairement aux vaches, supplémentation lipidique a peu d'effet sur la production laitière et elle n'a pas d'effet négatif sur le taux protéique (TP) ou le TB du lait (Chilliard et al., 2003). Chez la



chèvre, la supplémentation lipidique peut même accroître le TB (Schmidely et Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003); ainsi l'utilisation de rations riches en lipides peut être un moyen de minimiser le problème d'inversion entre le TB et le TP du lait (TB inférieur au TP) observé chez des chèvres en milieu de lactation.

Chez la vache, la combinaison d'apports lipidiques et de pourcentages élevés de concentré induit les plus fortes variations de MG du lait en relation avec la modification importante du profil en AG. Chez la chèvre, les études de modèles expérimentaux associant des teneurs accrues en lipides (principalement sous forme d'huile dans la ration) et des pourcentages de concentré moyens ou élevés ont permis de caractériser une réponse partiellement différente de celles obtenues chez la vache laitière (Chilliard et Ferlay, 2004). Cependant, du fait de la faible praticité de l'utilisation des huiles en élevage associées à leur effet dépressif sur la digestibilité des parois végétales de la ration, les lipides apportés par les graines d'OP représentent une forme d'apport pratique et pour laquelle il existe peu de données sur la composition en AG du lait. Ainsi, dans la partie expérimentale de cette thèse, nous avons choisi d'utiliser comme facteurs de variation le rapport concentré/fourrage (C/F) et l'apport lipidique sous forme de graines.

L'objectif principal de ce travail était donc d'étudier l'influence du pourcentage de concentré de la ration (*bas vs. haut*) combiné à une supplémentation lipidique (*témoin* sans lipides ajoutés, graines de *colza* ou de *soja*) sur la production et la composition en AG du lait de chèvre (**aspects zootechniques**). Pour mieux comprendre la relation entre digestion des aliments et composition du lait, les fermentations ruminales et les flux duodénaux de nutriments (principalement d'AG) ont été mesurés sur des chèvres portant des fistules au rumen et au duodénum (**aspects digestifs**). Dans une deuxième phase, nous avons étudié les effets induits par l'infusion duodénale de t10,c12-C18:2 et son interaction avec les facteurs alimentaires décrits ci-dessus (**aspects métaboliques**). Cet AG semble être un des responsables de la réduction du TB chez la vache laitière alimentée avec des rations riches en concentré et en lipides. Toutefois, son effet sur la synthèse mammaire chez la chèvre n'est pas connu; ainsi, les rares études réalisées sur cette espèce n'ont étudié que les apports alimentaires de t10,c12-C18:2 (Erasmus et al., 2004) ou l'infusion sanguine de t10,c12-C18:2 sur une période courte (Schmidely et Morand-Fehr, 2004).

# **Partie I : Etude bibliographique**

*Influence de l'utilisation de graines oléagineuses ou d'huiles issues de graines oléagineuses dans la ration des ruminants laitiers sur les caractéristiques de production et la composition en acides gras du lait*

# 1. Introduction

---

Les lipides forment un groupe très hétérogène de substances peu ou pas solubles dans l'eau, dont les rôles dans les systèmes biologiques sont très variés. Ils servent de combustible et de réserve énergétique, mais ils remplissent d'autres fonctions essentielles dans le métabolisme cellulaire et général. Ils participent, entre autres, au développement et à l'entretien des fonctions du système nerveux, à la transmission des signaux cellulaires, au transport des molécules, aux réactions enzymatiques, et à la régulation de l'activité de certains gènes. Ils ont aussi un rôle structural comme constituants des membranes.

Les lipides sont composés essentiellement d'AG qui sont des chaînes de carbones présentant à l'une des extrémités une fonction acide, le groupement carboxyle, et un groupement méthyle à l'autre extrémité (structure d'un AG:  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$ ). Parfois, ils sont associés à d'autres substances, comme des glucides (formant des glycolipides) ou du phosphore (formant des phospholipides). Ils peuvent être libres (AG non estérifiés) ou estérifiés avec des alcools, formant des glycérides (mono, di ou triacylglycérols, selon le nombre d'AG) ou le cholestérol. Dans les tissus animaux et végétaux, la majorité des AG présente des chaînes paires, non ramifiées, à 16 ou 18 C. Certains AG sont insaturés et en général, les doubles liaisons sont en position *cis*. Cependant, dans les tissus ou dans le lait des ruminants, des AG de configuration *trans* produits par les microorganismes ruminants, ainsi que des AG à chaîne impaire ou ramifiée peuvent être détectés.

Les AG sont souvent désignés par des noms usuels comme, par exemple, l'acide stéarique pour l'AG saturé avec 18 C (C18:0). Dans cette thèse, les noms usuels ne sont utilisés que pour les AG des aliments (à l'exception de l'acide linoléique conjugué - CLA) et les formules chimiques sont préférées. Pour les AG insaturés, nous avons utilisé des formules avec indication de l'isomérisation (*cis* noté 'c' ou *trans* noté 't') et des carbones qui forment la liaison, comptés à partir de l'extrémité carboxyle (notation en  $\Delta$ : par exemple pour l'acide oléique, c9-C18:1). Quand les AG insaturés sont présentés sans indication d'isomérisation de la liaison cela indique une référence aux AG en général, ou encore que la méthode d'analyse utilisée n'a pas permis l'identification de la position géométrique de la double liaison. La nomenclature ' $\omega$ ' ou '*n*' (les carbones qui constituent les doubles liaisons sont comptés à

partir de l'extrémité méthyle, par exemple C18:2n-6 ou C18:2w6 pour l'acide linoléique) n'est employée que pour représenter le rapport n-3/n-6.

Les lipides présents dans l'alimentation des ruminants sont essentiellement des AG insaturés avec 18 C : les lipides des fourrages sont riches en acide linoléique, tandis que les aliments concentrés contiennent en général beaucoup d'acide linoléique et oléique (Harfoot et Hazlewood, 1988), à l'exception des graines de lin riches en acide linoléique et de certaines matières premières dérivées de l'huile de palme qui contiennent de l'acide palmitique (C16:0). Dans les rations, les AG sont présents sous forme de phospholipides et de glycolipides qui constituent la majorité des lipides des plantes fourragères, et aussi sous forme de triacylglycérols issus des aliments concentrés (Harfoot et Hazlewood, 1988). Les rations des ruminants laitiers contiennent usuellement peu de lipides. Cependant, des sources de lipides peuvent être ajoutées afin, entre autres, d'augmenter la densité énergétique des rations pour couvrir les besoins énergétiques ou limiter le déficit des animaux durant certaines périodes du cycle biologique pour lesquelles, soit la disponibilité en aliments (fourrages) est réduite, soit l'ingestion volontaire d'aliments est limitée.

Aujourd'hui, l'apport de lipides végétaux dans la ration des ruminants laitiers vise aussi à moduler les teneurs en MG du lait et son profil en AG, afin d'obtenir un produit présentant les qualités technologiques désirées, mais aussi qui répond aux attentes des consommateurs de plus en plus soucieux de leur santé (Ashes et al, 1997, Chilliard et al., 2001, Lock et Bauman, 2004).

L'addition d'huiles végétales ou de graines d'OP brutes ou traitées dans la ration des ruminants laitiers est un moyen de modifier à court terme la production et la composition de la MG du lait. La portée de ces modifications dépend de l'amplitude des effets de cette supplémentation sur le métabolisme des microorganismes ruminiaux, sur la digestibilité ruminale des aliments ingérés et, par conséquent, sur les flux de nutriments absorbés dans l'intestin grêle qui sont alors potentiellement utilisables par les tissus périphériques dont la glande mammaire. Les principaux facteurs d'origine alimentaire de variations de la réponse quantitative et qualitative de la MG laitière à l'apport de lipides végétaux sont la quantité ajoutée, l'origine botanique, le mode de présentation (huile ou graines) et les traitements technologiques appliqués (Kennelly, 1996b, Ashes et al, 1997, Chilliard et Ferlay, 2004).

Les effets de l'apport de lipides végétaux sur la production et la composition du lait de vache ont été très étudiés et de nombreuses revues ont été publiées (Palmquist et al., 1993, Kennelly, 1996a, Ashes et al., 1997, Bessa et al., 2000, Chilliard et al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004, par exemple). Toutefois, parmi ces revues seules les plus récentes (Chilliard et

al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004) traitent des modifications du profil des isomères du *trans*-C18:1 (principalement t10- et t11-) et des CLA (principalement c9,t11-C18:2 et t10,c12-C18:2) dans le lait. Il a été montré que les proportions de ces isomères dans le lait peuvent varier selon les caractéristiques des sources lipidiques ajoutées à la ration (Collomb et al., 2004a, Looor et al., 2005b). De plus, des revues spécifiquement dédiées aux graines d'OP (Kennelly, 1996a) sont anciennes, et aucune synthèse récente n'a été effectuée, malgré le grand nombre d'études réalisées ces dernières années.

Nous avons donc synthétisé de façon quantitative l'effet de certains facteurs de variation de la réponse laitière (production, TB, TP et surtout la composition en AG) à l'apport des lipides végétaux issus de graines d'OP en compilant les informations issues des recherches conduites de 1980 à 2005. Notre compilation porte sur les études chez la vache laitière du fait d'un très grand nombre de publications disponibles; toutefois, nous avons aussi pris en compte les principales caractéristiques, du moins qualitatives (texte encadré), de la réponse des chèvres à la supplémentation lipidique. Afin d'éviter des redondances avec la discussion des nos résultats expérimentaux, les données quantitatives concernant les chèvres ne sont pas présentées dans l'étude bibliographique.

Une attention particulière a été portée sur l'incidence de l'apport lipidique sur les teneurs dans le lait des isomères positionnels et géométriques de position et de configuration des acides oléique et linoléique. Une centaine d'articles rapportant les variations de composition (TB) et de profil en AG du lait chez des vaches laitières alimentées à l'auge avec des rations contenant des lipides issus de graines OP a été identifiée. Dans ces articles, une majorité des groupes expérimentaux a été alimentée avec des rations contenant du colza ou du soja, ce qui montre l'importance de ces graines dans l'alimentation animale. D'autres graines, telles le coton, le lin et le tournesol sont aussi représentées. Notre objectif est de comparer la performance des vaches laitières, et principalement le profil en AG du lait selon : l'apport ou non de lipides, l'utilisation d'OP sous forme d'huile ou de graine et l'origine botanique de l'OP. Les effets de ces lipides végétaux sur le métabolisme ruminal des parois végétales ou des lipides (lipolyse et biohydrogénation) du régime ne seront abordés que pour expliquer leurs contribution aux variations de la composition du lait (des revues sur ces sujets ont été publiées par Harfoot et Hazlewood, 1988, Jenkins et al., 1993, Doreau et Chilliard, 1997, Sauvante et Bas, 2001).

## 2. Caractéristiques de la base de données

---

### 2.1. Critères pour la sélection des références

La liste d'articles utilisés pour constituer la base de données est présentée dans la partie **Références bibliographiques**. Les articles sélectionnés devaient contenir des informations sur le TB et la composition en AG du lait de vaches laitières alimentées avec des rations contenant soit des graines soit des huiles issues d'OP. Les lots recevant des lipides d'origine animale, de l'huile de palme ou d'autres sources d'AG mélangés à des OP ou comme unique source lipidique ont été exclus. Les expérimentations conduites au pâturage n'ont pas été utilisées. Un total de 107 références a été sélectionné, représentant 99 lots témoins (sans lipides ajoutés) et 297 lots supplémentés.

### 2.2. Caractéristiques des animaux et de l'alimentation de base

*Animaux:*

- 86% des lots avec Holstein ; poids moyen de 605 kg (417-745 kg)
- Parité: primipares ( $n = 35$ ), multipares ( $n = 155$ ) ou mixtes ( $n = 122$ ).
- Stade de lactation : en moyenne 84 jours (7 à 249j).

*Alimentation:*

- Pourcentage de concentré : 49% en moyenne (17 à 76%). Des rations avec 50% ou plus de concentré ont été utilisées dans 258 des lots expérimentaux.
- Fréquence de distribution: une ( $n = 112$ ) ou deux ( $n = 168$ ) fois/j, mais 46 groupes sont alimentés 3 fois/j ou plus.
- Régime distribué principalement comme ration complète ( $n = 295$ ), mais aussi concentré et fourrage séparément ( $n = 85$ ).

### 2.3. Caractéristiques des sources lipidiques

Les deux OP les plus représentés dans la base de données sont le colza et le soja (Tableau B1) et plus de la moitié des groupes supplémentés ont reçu une de ces deux graines. Le Tableau B2 montre le profil en AG des principaux OP présents dans la base de données et le Tableau B3 les principaux traitements appliqués aux graines.

**Tableau B1:** Principaux oléo-protéagineux représentés dans la base de données et leurs formes de présentation<sup>1</sup>.

	Graines	Huile / AG	Total
Colza	40	29	73
Cotton	36	2	38
Lin	29	8	37
Soja	58	20	78
Tournesol	23	5	29
Autres	2	2	4
Mélange	8	0	8
<b>Total</b>	<b>200</b>	<b>55</b>	

<sup>1</sup>Les chiffres représentent des groupes expérimentaux.

**Tableau B2:** Profil en AG des principaux oléo-protéagineux représentés dans la base de données<sup>1</sup>.

	Colza	Cotton	Lin	Soja	Tournesol
	% des AGT				
C <sub>14:0</sub>	0,55	0,43	0,12	0,10	0,06
C <sub>16:0</sub>	5,64	12,19	7,27	11,30	5,05
C <sub>16:1</sub>	0,20	0,60	0,10	0,10	0,35
C <sub>18:0</sub>	2,21	1,40	4,22	4,00	4,00
C <sub>18:1</sub>	<b>61,78</b>	10,01	18,28	23,00	30,02
C <sub>18:2</sub>	20,05	<b>42,87</b>	20,41	<b>51,7</b>	<b>48,36</b>
C <sub>18:3</sub>	8,18	0,03	49,31	6,50	0,34

<sup>1</sup> Source : Tables INRA / AFZ (Sauvant et al., 2001)

**Tableau B3:** Principaux traitements technologiques appliqués aux graines d'oléo-protéagineux<sup>1</sup>.

	Sans traitement <sup>2</sup>	Mécanique <sup>3</sup>	Chaleur sèche <sup>4</sup>	Expansion <sup>5</sup>	Extrusion <sup>6</sup>	Chimique <sup>7</sup>
Colza	3	14	1	11	2	4
Coton	22	10	1	3	1	0
Lin	6	6	1	0	0	6
Soja	8	7	12	5	21	0
Tournesol	8	7	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>44</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>11</b>

<sup>1</sup>Les chiffres représentent des lots expérimentaux.

<sup>2</sup>Graines qui n'ont subi aucun traitement technologique ('raw', 'whole').

<sup>3</sup>Graines qui ont subi uniquement des traitements mécaniques ('ground', 'rolled' ou 'cracked').

<sup>4</sup>Graines qui ont subi des traitements thermiques par chaleur sèche ('roasted').

<sup>5</sup>Graines qui ont subi une expansion (chaleur durant 90-120 seconds provoquant l'éclatement du grain).

<sup>6</sup>Graines extrudées (chauffées durant un temps très court et sous pression).

<sup>7</sup>Graines traitées chimiquement, principalement avec du formaldéhyde, ou qui ont subi un traitement inconnu de protection ('Protected').

## 2.4. Données de production et composition du lait des lots témoins

Les résultats de composition et de production de lait ainsi que le profil en AG de la MG du lait des vaches laitières alimentées avec des rations non supplémentées en lipides (lots témoins de la base de données) sont présentés aux tableaux B4 et B5. L'effet de l'apport lipidique (Tableau B6, B9, B12, et B19) est présenté en écart aux données des animaux témoins pour faciliter la visualisation de l'effet (négatif ou positif) de la supplémentation lipidique.



**Tableau B4:** Performances laitières des vaches alimentées avec des rations sans lipides ajoutés (lots témoins)<sup>1</sup>.

	<b>Groupes non supplémentés</b>				
	DL	PIC	ML	FL	<b>Total</b>
Ingestion de MS, kg/j	<b>21,3 ± 3,1</b> (27)	<b>21,6 ± 3,7</b> (17)	<b>21,1 ± 3,7</b> (27)	<b>16,6 ± 3,0</b> (3)	<b>21,2 ± 3,4 (80)</b>
Ingestion de ENL, Mcal/j	-	-	-	-	<b>35,3 ± 4,5</b> (12)
Production de lait, kg/j	<b>31,3 ± 6,6</b> (28)	<b>28,3 ± 5,1</b> (19)	<b>28,0 ± 7,3</b> (26)	<b>21,6 ± 7,3</b> (4)	<b>28,9 ± 6,7</b> (85)
Production de lait 4%, kg/j	<b>29,7 ± 6,0</b> (29)	<b>26,9 ± 4,7</b> (19)	<b>26,4 ± 6,7</b> (28)	<b>20,8 ± 7,7</b> (4)	<b>27,4 ± 6,2</b> (88)
Taux butyreux, %	<b>3,46 ± 0,37</b> (29)	<b>3,61 ± 0,82</b> (19)	<b>3,53 ± 0,45</b> (31)	<b>3,73 ± 0,38</b> (4)	<b>3,54 ± 0,51</b> (92)
Taux protéique, %	<b>3,12 ± 0,24</b> (29)	<b>3,28 ± 0,33</b> (19)	<b>3,25 ± 0,20</b> (30)	<b>3,28 ± 0,33</b> (4)	<b>3,22 ± 0,25</b> (91)
Taux de lactose, %	<b>4,82 ± 0,15</b> (13)	<b>4,92 ± 0,13</b> (13)	<b>4,71 ± 0,16</b> (13)	<b>4,55 ± 0,34</b> (4)	<b>4,76 ± 0,18</b> (50)
Production de MG, g/j	<b>1,10 ± 0,24</b> (29)	<b>1,00 ± 0,17</b> (19)	<b>1,01 ± 0,27</b> (28)	<b>0,81 ± 0,3</b> (4)	<b>1,03 ± 0,24</b> (87)
Production de protéine, g/j	<b>0,99 ± 0,19</b> (29)	<b>0,92 ± 0,13</b> (19)	<b>0,91 ± 0,21</b> (27)	<b>0,92 ± 0,27</b> (4)	<b>0,93 ± 0,19</b> (86)
Production de lactose, g/j	<b>1,55 ± 0,38</b> (13)	<b>1,34 ± 0,29</b> (13)	<b>1,24 ± 0,41</b> (13)	<b>1,00 ± 0,39</b> (4)	<b>1,35 ± 0,17</b> (49)

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots expérimentaux.

**Tableau B5:** Profil en AG du lait des vaches laitières alimentées avec des rations sans lipides ajoutés (lots témoins)<sup>1</sup>.

Acide gras (%AGT)	Groupes non supplémentés	Acide gras (%AGT)	Groupes non supplémentés
C <sub>4:0</sub>	<b>3,56</b> ± 1,41 (73)	t10-C <sub>18:1</sub>	<b>0,72</b> ± 0,70 (6)
C <sub>6:0</sub>	<b>2,45</b> ± 0,76 (86)	t11-C <sub>18:1</sub>	<b>1,24</b> ± 0,50 (21)
C <sub>8:0</sub>	<b>1,52</b> ± 0,45 (86)	t12-C <sub>18:1</sub>	<b>0,22</b> ± 0,09 (4)
C <sub>10:0</sub>	<b>3,57</b> ± 0,78 (91)	Σ C <sub>18:2</sub>	<b>2,69</b> ± 1,01 (92)
C <sub>11:0</sub>	<b>0,98</b> ± 0,88 (7)	Σ C <sub>18:2</sub> non conjugué	
C <sub>12:0</sub>	<b>4,18</b> ± 0,73 (92)	c9,c12-C <sub>18:2</sub> (n6)	<b>2,45</b> ± 0,63 (20)
C <sub>13:0</sub>	<b>0,20</b> ± 0,09 (5)	t9,c12-C <sub>18:2</sub>	<b>0,04</b> ± 0,01 (2)
C <sub>14:0</sub>	<b>12,54</b> ± 1,74 (96)	t9,t12-C <sub>18:2</sub>	<b>0,14</b> ± 0,13 (6)
C <sub>14:1</sub>	<b>1,49</b> ± 0,48 (63)	Σ C <sub>18:2</sub> conjugué	<b>0,54</b> ± 0,28 (25)
C <sub>15:0</sub>	<b>1,37</b> ± 0,30 (52)	c9,t11-C <sub>18:2</sub>	<b>0,49</b> ± 0,25 (25)
C <sub>16:0</sub>	<b>31,58</b> ± 5,20 (96)	t9,t11-C <sub>18:2</sub>	<b>0,05</b> ± 0,02 (4)
C <sub>16:1</sub>	<b>2,25</b> ± 0,98 (83)	t10,c12-C <sub>18:2</sub>	<b>0,01</b> ± 0,01 (8)
<i>trans</i> -C <sub>16:1</sub>	<b>0,52</b> ± 0,49 (10)	t11,t13-C <sub>18:2</sub>	<b>0,02</b> ± 0,01 (3)
<i>cis</i> -C <sub>16:1</sub>	<b>1,81</b> ± 0,62 (10)	c11,t13-C <sub>18:2</sub>	<b>0,00</b> (2)
C <sub>17:0</sub>	<b>0,71</b> ± 0,20 (52)	t11,c15-C <sub>18:2</sub>	<b>0,17</b> ± 0,08 (2)
C <sub>18:0</sub>	<b>9,89</b> ± 2,89 (96)	Σ C <sub>18:3</sub>	<b>0,67</b> ± 0,62 (80)
Σ C <sub>18:1</sub>	<b>21,27</b> ± 4,07 (96)	c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub> (n3)	<b>0,83</b> ± 1,10 (13)
Σ <i>cis</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>18,97</b> ± 3,14 (45)	c6,c9,c12-C <sub>18:3</sub> (n6)	<b>0,19</b> ± 0,16 (17)
c6-C <sub>18:1</sub>	<b>0,49</b> ± 0,11 (5)	C <sub>20:0</sub>	<b>0,28</b> ± 0,21 (28)
c9-C <sub>18:1</sub>	<b>17,45</b> ± 3,53 (21)	C <sub>20:1</sub>	<b>0,19</b> ± 0,16 (17)
c11-C <sub>18:1</sub>	<b>0,63</b> ± 0,18 (15)		
c12-C <sub>18:1</sub>	<b>0,22</b> ± 0,16 (3)	C <sub>14:1</sub> total/C <sub>14:0</sub>	<b>0,12</b> ± 0,04 (63)
c13-C <sub>18:1</sub>	<b>0,07</b> ± 0,03 (3)	C <sub>16:1</sub> total/C <sub>16:0</sub>	<b>0,08</b> ± 0,04 (83)
c15-C <sub>18:1</sub>	<b>0,15</b> ± 0,11 (2)	C <sub>18:1</sub> total/C <sub>18:0</sub>	<b>2,26</b> ± 0,54 (96)
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>2,02</b> ± 0,97 (40)	C <sub>18:1</sub> c9/C <sub>18:0</sub>	<b>1,97</b> ± 0,48 (21)
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	<b>0,21</b> ± 0,15 (5)	CLA total/t11-C <sub>18:1</sub>	<b>0,53</b> ± 0,23 (15)
t9-C <sub>18:1</sub>	<b>0,17</b> ± 0,06 (11)	c9,t11-C <sub>18:2</sub> /t11-C <sub>18:1</sub>	<b>0,46</b> ± 0,17 (17)

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots expérimentaux

## 2.5. Traitement de la base de données

Nous avons effectué l'analyse de la base de données en calculant par expérimentation l'écart entre les variables mesurées chez les vaches laitières non supplémentées (lots témoins)

et celles recevant des rations avec différents niveaux d'apport de lipides végétaux (articles 'témoins vs. supplémentés'), en séparant les données concernant l'apport de graines quelle que soit l'origine et le traitement, de celles concernant les apports d'huiles. Les expérimentations pour lesquelles les traitements étaient 'iso-lipidiques' (comparaison de sources végétales ou de traitements technologiques) ont été éliminées. Les données calculées ont ensuite été stratifiées selon le stade de lactation : début (**DL** - moins de 60 jours), pic (**PIC** - entre 61 et 105 jours), milieu (**ML** - entre 105 et 210 jours) et fin (**FL** - plus de 210 jours). L'effet de la dose de lipides n'a pas été analysé statistiquement (l'effet dose doit être évalué intra-graine), toutefois, l'effet de la quantité de lipides (extrait éthéré, % MS de la ration) ou d'AG totaux (AGT, % MS de la ration) est représenté dans certains graphiques. Pour l'analyse du profil en AG, les données sont aussi présentées en écart aux valeurs des lots témoins; pour ces variables, nous n'avons pas cherché à mettre en évidence d'effet du stade de lactation dans la mesure où l'insuffisance de certaines données (notamment de profil des isomères *trans* du C18:1 et des AG conjugués) ne permettait pas de comparaison statistique.

Dans une 2<sup>ème</sup> étape, nous avons cherché à caractériser pour chaque type de présentation des lipides (graines ou huiles), les effets de la nature de ces apports (origine botanique, sans séparation de différentes variétés) et des traitements technologiques en compilant les publications 'témoins vs. supplémentés' (desquelles ont été retirés les lots témoins) et celles pour lesquelles seule la nature de l'apport lipidique ou le traitement technologique associé était étudié (expérimentations 'iso-lipides'). Pour les graines, cinq traitements technologiques ont été définis (Tableau B3) : **NT** (graines non traitées), **MEC** (traitements mécaniques), **EX** (extrusion ou expansion), **CH** (traitements chimiques, graines protégées), **CS** (chaleur sèche). Pour les huiles, les données concernant l'apport sous forme d'AG libre ou de triglycérides ont été considérées comme une seule forme de présentation 'Huile' (**HL**); les autres traitements définis étaient la présentation sous forme de sels de calcium (**SC**) ou d'amides (**AM**). Tous les traitements technologiques ne s'appliquant pas à toutes les graines, les effectifs des lots comparés ne sont pas égaux (Tableau B3 pour les graines) ce qui peut être à l'origine de biais d'analyse. L'effet de la source végétale peut ainsi être confondu avec l'effet du traitement et il est difficile de comparer différents OP qui ont subi le même type de traitement technologique.

### **3. Influence de la supplémentation lipidique sur l'ingestion, la production et la composition du lait**

---

#### **3.1. Ingestion et production de lait**

Tous stades confondus, l'addition de lipides à la ration (Tableau B6) réduit la matière sèche ingérée (MSI) par rapport aux rations témoins, plus spécialement quand ils sont fournis sous forme d'huile. L'amplitude de cette diminution est variable selon le stade de lactation: avec les graines d'OP, la diminution de MSI est légèrement plus forte au pic qu'en milieu de lactation ; le faible nombre de données pour le début et la fin de lactation ne permet pas d'établir de conclusions pour ces stades. Suite à l'apport d'huile, des fortes réductions de MSI sont également observées au pic de lactation.

L'intensité de l'impact des lipides sur l'ingestion dépend de ses effets négatifs sur le métabolisme ruminal : un apport lipidique inférieur à 5% de la MS influence peu la digestion ruminale (Doreau et Chilliard, 1997), mais un apport supérieur a un effet délétère sur les bactéries cellulolytiques du rumen, diminuant la digestion des parois végétales (Harfoot et Hazlewood, 1988, Jenkins, 1993) et principalement celle du NDF (Vieira et al., 2001). Ce seuil de '5%' est uniquement indicatif puisque les effets des lipides sur le métabolisme ruminal et l'ingestion ne dépendent pas que de la quantité ajoutée, mais aussi de la quantité d'AG libérée et de la vitesse de libération, une libération plus lente ayant moins d'effet négatif sur les microorganismes (Jenkins, 1993, Allen, 2000). L'insaturation des AG a également un fort impact sur le métabolisme ruminal puisque les AGPI ont une action plus négative que les AG saturés (Jenkins, 1993).

La diminution de la digestion des parois végétales peut augmenter la distension ruminale (contrôle physique) et le temps de séjour de la MS dans le rumen et ainsi diminuer l'ingestion (Allen, 2000). La stimulation par les lipides de la sécrétion de cholécystokinine au niveau duodénal, une hormone qui semble participer au contrôle nerveux de l'ingestion, est une autre hypothèse avancée pour expliquer la diminution de l'ingestion (Allen, 2000).

**Tableau B6:** Effet de l'apport des lipides sur l'écart des performances laitières des vaches alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux, selon le stade de lactation <sup>1</sup>.

	Apport lipidique sous forme de graine					Apport lipidique sous forme d'huile				
	DL <sup>2</sup>	PIC	ML	FL	Total	DL	PIC	ML	FL	Total
Ingestion MS, Kg/j	<b>-1,93</b> ± 1,65 (3) NS	<b>-0,37</b> ± 1,11 (40) *	<b>-0,18</b> ± 1,88 (43) NS	<b>-1,66</b> ± 2,18 (5) NS	<b>-0,44</b> ± 1,54 (108)***	<b>-0,73</b> ± 0,93 (8) +	<b>-1,39</b> ± 1,04 (20)***	<b>-1,50</b> ± 2,76 (9) NS	<b>-0,29</b> ± 0,73 (3) NS	<b>-1,23</b> ± 1,52 (43)***
Ingestion ENL, Mcal/j	-	-	-	-	<b>+1,88</b> ± 5,68 (34) +	-	-	-	-	<b>+1,07</b> ± 3,29 (17) NS
Production lait, kg/j	<b>-0,93</b> ± 1,63 (6) NS	<b>+1,25</b> ± 1,73 (40)***	<b>+0,98</b> ± 2,91 (43) *	<b>-3,76</b> ± 3,50 (5) NS	<b>+0,52</b> ± 2,59 (114) *	<b>-0,03</b> ± 1,36 (8) NS	<b>+0,31</b> ± 1,72 (20) NS	<b>+0,26</b> ± 2,00 (13)NS	<b>-0,71</b> ± 2,39 (4) NS	<b>+0,15</b> ± 1,75 (48) NS
Production lait 4%, kg/j	<b>-1,02</b> ± 1,21 (6) NS	<b>+0,32</b> ± 2,04 (42) NS	<b>+1,01</b> ± 2,14 (45) ***	<b>-4,59</b> ± 4,62 (5) NS	<b>+0,26</b> ± 2,39 (115) NS	<b>-0,75</b> ± 1,56 (8) NS	<b>-1,75</b> ± 2,45 (20) **	<b>-0,64</b> ± 2,33 (13) NS	<b>-2,05</b> ± 2,02 (4) NS	<b>-1,33</b> ± 2,22 (48) ***
Taux butyreux, %	<b>-0,13</b> ± 0,11 (6) **	<b>-0,14</b> ± 0,27 (42) **	<b>+0,00</b> ± 0,31 (47) NS	<b>-0,33</b> ± 0,52 (5) NS	<b>-0,08</b> ± 0,31 (117) **	<b>-0,14</b> ± 0,17 (8) *	<b>-0,55</b> ± 0,42 (20) ***	<b>-0,16</b> ± 0,31 (13) +	<b>-0,45</b> ± 0,25 (4) +	<b>-0,37</b> ± 0,38 (48) ***
Taux protéique, %	<b>-0,01</b> ± 0,07 (6)	<b>-0,07</b> ± 0,09 (42) ***	<b>-0,06</b> ± 0,10 (47) ***	<b>0,03</b> ± 0,17 (5) NS	<b>-0,07</b> ± 0,12 (117) ***	<b>-0,16</b> ± 0,14 (8) *	<b>-0,13</b> ± 0,17 (20) **	<b>-0,08</b> ± 0,10 (12) *	<b>-0,02</b> ± 0,15 (4) NS	<b>-0,11</b> ± 0,15 (47) ***
Taux de lactose, %	<b>0,03</b> ± 0,03 (3) NS	<b>-0,01</b> ± 0,10 (20) NS	<b>+0,05</b> ± 0,06 (26) **	<b>-0,01</b> ± 0,14 (5) NS	<b>0,02</b> ± 0,09 (61) *	<b>+0,01</b> ± 0,05 (8) NS	<b>+0,02</b> ± 0,10 (20) NS	<b>+0,08</b> ± 0,08 (7) NS	<b>+0,02</b> ± 0,12 (4) NS	<b>+0,02</b> ± 0,09 (42) +
Production de MG, g/j	<b>-15</b> ± 56 (6) NS	<b>+6</b> ± 117 (42) NS	<b>+36</b> ± 90 (45) **	<b>-200</b> ± 220 (5) NS	<b>+8</b> ± 113 (115) NS	<b>-50</b> ± 80 (8) +	<b>-140</b> ± 140 (20) ***	<b>-80</b> ± 130 (9) +	<b>-130</b> ± 80 (4) +	<b>-114</b> ± 122 (44) ***
Production de MP, g/j	<b>-32</b> ± 44 (6) NS	<b>+17</b> ± 59 (42) +	<b>+6</b> ± 66 (45) NS	<b>-130</b> ± 110 (5) *	<b>-3</b> ± 68 (115) NS	<b>-51</b> ± 71 (8) +	<b>-21</b> ± 68 (20) NS	<b>-42</b> ± 81 (8) NS	<b>-38</b> ± 107 (4) NS	<b>-31</b> ± 71 (43) **
Production de lactose, g/j	<b>-35</b> ± 29 (3) NS	<b>+83</b> ± 97 (20) **	<b>+69</b> ± 150 (25) *	<b>-170</b> ± 180 (5) NS	<b>+48</b> ± 140 (60) **	<b>+5</b> ± 55 (8) NS	<b>+25</b> ± 86 (20) NS	<b>+0</b> ± 123 (5) NS	<b>+9</b> ± 124 (4) NS	<b>+15</b> ± 84 (40) NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

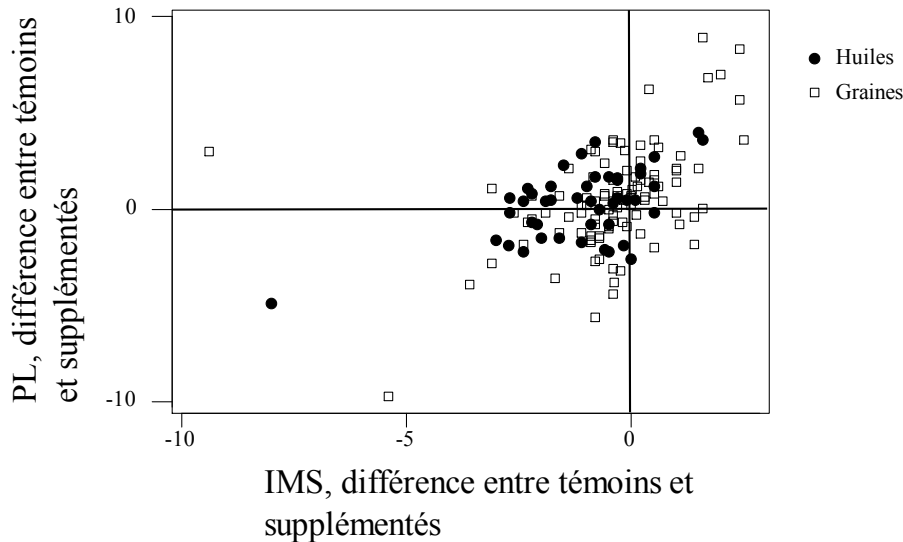
<sup>2</sup>Stade de lactation : DL - moins de 60j, PIC - entre 61 et 105j, ML - entre 105 et 210j et FL - plus de 210j.

<sup>3</sup>\*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

L'effet de l'origine végétale des graines sur la MSI n'est pas significatif (Tableau B7), en dépit d'ingestions plus faibles lors de la supplémentation en lin ou en colza, et plus élevées avec le coton.

Les variations de MSI induites par les apports lipidiques sont corrélées aux variations de production de lait (PL), ainsi l'effet de la supplémentation lipidique sur la PL ne peut être

considéré séparément de ses effets sur l'environnement ruminal et sur l'ingestion (Jenkins et Jenny, 1992).



**Figure B1:** Relation ( $y=0,94+0,73*X$  ;  $r^2=0,73$  ;  $etr=2,21$ ) entre l'écart de PL brute (kg/j) et l'écart de MSI (kg/j) entre lots témoins ou supplémentés selon la forme de présentation des lipides (huiles ou graines).

La supplémentation lipidique peut augmenter la PL si la MSI n'est pas inhibée, permettant une augmentation de l'ingestion d'énergie. Cependant, l'ordonnée à l'origine de la relation de la Figure B1, montre aussi qu'en absence de variation de MSI ( $X = 0$ ), la réponse en lait est de l'ordre de 1 kg/j. Ainsi, nous avons observé un effet positif de la supplémentation lipidique sur la PL (Tableau B6), mais seulement avec l'utilisation de graines, en accord avec l'accroissement d'énergie ingérée dû à ces suppléments lipidiques. Les effets de l'apport de lipides sur la PL sont également plus marqués au pic qu'en milieu de lactation, probablement du fait qu'au pic de lactation, l'apport de lipides peut réduire le déficit énergétique, permettant d'accroître la PL (Khorasani et al., 1991). Par contre, la production de lait corrigé à 4% de MG (PL4) n'est pas augmentée par l'apport de graines et elle est même réduite par l'apport des huiles en raison des diminutions du TB (voir item 3.2.).

*Comme pour les vaches, l'effet de la supplémentation lipidique est variable selon la phase de lactation chez les chèvres. En début de lactation, les variations de production laitière sont fonction de l'intensité du déficit énergétique des chèvres, et de façon générale,*

*la PL est peu augmentée par l'apport de lipides en milieu ou fin de lactation (Chilliard et al., 2003).*

L'utilisation des graines comparée à celle des huiles végétales a un effet positif sur la PL, du fait que leurs parois végétales peuvent constituer une protection partielle à l'attaque microbienne et elles ralentissent ou diminuent la libération des lipides et leurs effets délétères sur la flore ruminale (Chilliard et al., 2001). Les huiles protégées du métabolisme ruminal (par encapsulation, saponification ou transformation en amides) ont moins d'effets négatifs sur l'environnement ruminal que les huiles non traitées; la MSI et la PL sont équivalentes entre des vaches recevant les mêmes apports de lipides *via* des graines ou des huiles protégées (Clapperton et al., 1980). L'effet des traitements des huiles sur les performances laitières des vaches n'était pas significatif (Tableau B8), mais, par rapport aux huiles de colza non traitées, l'utilisation des huiles sous forme de sels de calcium a augmenté la MSI et la PL, tandis que les amides les ont diminuées, très probablement en raison d'une faible palatabilité (Jenkins, 1998).

Les traitements technologiques constituent un facteur important pouvant moduler les effets des lipides. Ainsi, les graines traitées en vue d'accroître leur digestibilité ruminale induisent des effets négatifs sur les fermentations ruminales, conduisant à une diminution de la production des acides gras volatils (AGV) et du rapport A/P (Jenkins, 1993, Doreau et Chilliard, 1997); en conséquence, elles peuvent présenter des effets négatifs sur la MSI et la PL (Kennely, 1996b). Sur notre base de données, l'effet des traitements technologiques (Tableau B3) est plus ou moins marqué selon les graines, mais ces effets ne peuvent cependant pas être séparés de l'effet de la quantité des lipides ajoutée à la ration. En général, le traitement des graines de colza, dont l'enveloppe est très lignifiée et résistante à la dégradation ruminale et intestinale, a un effet très important (Kennely, 1996a, Aldrich et al., 1997) : les graines de colza extrudées ou broyées augmentent la PL en comparaison aux graines entières non traitées dont une partie passe intacte dans le tractus digestif (Bayourthe et al., 2000). Nous avons observé une PL et une PL4 plus élevées quand le colza était traité chimiquement par rapport aux autres traitements (mécanique et extrusion/expansion) et aux graines non traitées (Tableau B7). Pour le soja, les graines extrudées ont augmenté la PL et la PL4 en comparaison aux graines entières, toastées ou traitées mécaniquement. Tice et al. (1993) ont obtenu une augmentation de la PL lorsque les graines de soja ont été toastées par rapport aux graines non traitées, et cette différence a été attribuée à une plus grande protection

des protéines vis à vis du catabolisme ruminal, accroissant le flux d'acides aminés dans l'intestin. Néanmoins, des comparaisons directes entre les traitements technologiques (rations iso-lipidiques), montrent, en général, peu de différence pour la MSI et la PL (McGuffey et Schingoethe, 1982, Chouinard et al., 1997a/b, Bayourthe et al., 2000, Offer et al., 2001).

L'influence de l'origine botanique de l'OP sur la PL et la PL4 n'était pas significative, tandis que le type de traitement a eu un effet plus important, du moins pour les graines ( $P < 0,01$ ). Toutefois, il est possible que les effets des traitements et de la nature de l'OP soient confondus, puisque les comparaisons se font avec des lots dont les effectifs sont différents. Parmi les OP étudiés, les PL et les PL4 les plus élevées ont été obtenues quand les animaux sont supplémentés avec des graines de coton et plus faibles avec le colza et le lin en accord avec les données de MSI (Tableau B7). L'huile de lin a aussi réduit la PL par rapport aux autres huiles d'OP (Tableau B8). Des études avec des comparaisons directes ont montré que la PL n'est pas significativement différente entre les vaches recevant des rations contenant des OP de différents origines botaniques, indépendamment de la forme sous laquelle la source lipidique était présentée (Loor et Herbein, 2003b, Collomb et al., 2004a, Petit, 2002, Ward et al., 2002, Secchiari et al., 2003). Toutefois, Chouinard et al. (1998) ont observé une augmentation de la PL lorsque l'insaturation de la source lipidique (huile sous forme de savon de calcium) a augmenté (par rapport à la source riche en C18:1 : +2% avec le C18:2 et +7% avec le C18:3).



**Tableau B7:** Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur les caractéristiques de performances laitières des vaches<sup>1</sup>.

	Colza				Coton		Lin			Soja				Tournesol	
	NT <sup>2</sup>	MEC	EX	CH	NT	EX	NT	MEC	CH	NT	MEC	EX	CS	NT	MEC
Ingestion MS,	<b>18,0</b> ±	<b>18,7</b> ±	<b>21,3</b> ±	<b>21,3</b> ±	<b>23,7</b> ±	<b>24,2</b> ±	<b>19,0</b> ±	<b>18,7</b> ±	<b>20,6</b> ±	<b>20,6</b> ±	<b>16,9</b> ±	<b>22,0</b> ±	<b>17,9</b> ±	<b>20,6</b> ±	<b>21,4</b> ±
Kg/j	4,4 (15)	3,7 (10)	4,1 (4)	0,91 (4)	3,5 (36)	1,2 (4)	2,9 (9)	0,9 (10)	3,6 (6)	3,0 (12)	4,2 (6)	2,8 (21)	2,8 (7)	3,4 (14)	1,4 (3)
Production lait,	<b>25,7</b> ±	<b>23,5</b> ±	<b>25,5</b> ±	<b>32,0</b> ±	<b>33,7</b> ±	<b>36,3</b> ±	<b>27,7</b> ±	<b>26,5</b> ±	<b>29,1</b> ±	<b>28,0</b> ±	<b>20,6</b> ±	<b>35,2</b> ±	<b>26,7</b> ±	<b>32,2</b> ±	<b>29,8</b> ±
kg/j	7,8 (15)	7,4 (14)	10,7 (4)	6,6 (7)	8,7 (32)	1,6 (4)	8,3 (11)	2,3 (10)	6,2 (6)	5,5 (12)	10,4 (6)	3,7 (22)	7,6 (7)	5,7 (14)	2,2 (3)
Production lait	<b>23,8</b> ±	<b>22,8</b> ±	<b>22,6</b> ±	<b>30,1</b> ±	<b>33,4</b> ±	<b>32,7</b> ±	<b>26,9</b> ±	<b>27,4</b> ±	<b>26,6</b> ±	<b>26,0</b> ±	<b>18,2</b> ±	<b>31,3</b> ±	<b>23,8</b> ±	<b>28,7</b> ±	<b>28,6</b> ±
4%, kg/j	5,8 (14)	7,3 (13)	9,1 (4)	5,3 (7)	7,0 (36)	1,8 (4)	6,4 (10)	2,9 (10)	3,6 (6)	5,3 (12)	10,6 (6)	3,7 (22)	6,7 (7)	4,1 (14)	2,0 (3)
Taux butyreux,	<b>3,56</b> ±	<b>3,67</b> ±	<b>3,28</b> ±	<b>3,64</b> ±	<b>3,64</b> ±	<b>3,51</b> ±	<b>3,68</b> ±	<b>4,22</b> ±	<b>3,53</b> ±	<b>3,52</b> ±	<b>3,04</b> ±	<b>3,20</b> ±	<b>3,34</b> ±	<b>3,23</b> ±	<b>3,76</b> ±
%	0,71 (14)	0,57 (13)	0,13 (4)	0,29 (7)	0,34 (36)	0,19 (4)	0,48 (10)	0,27 (10)	0,64 (6)	0,15 (12)	0,49 (6)	0,25 (23)	0,46 (7)	0,45 (16)	0,34 (3)
Taux	<b>3,11</b> ±	<b>3,26</b> ±	<b>3,23</b> ±	<b>3,29</b> ±	<b>3,10</b> ±	<b>3,05</b> ±	<b>3,32</b> ±	<b>3,29</b> ±	<b>3,32</b> ±	<b>3,12</b> ±	<b>3,32</b> ±	<b>2,93</b> ±	<b>3,17</b> ±	<b>3,12</b> ±	<b>3,25</b> ±
protéique, %	0,25 (14)	0,34 (13)	0,17 (4)	0,18 (7)	0,16 (36)	0,40 (4)	0,28 (10)	0,70 (10)	0,18 (6)	0,9 (12)	0,38 (6)	0,16 (23)	0,24 (7)	0,25 (16)	0,14 (3)
Taux de	<b>4,81</b> ±	<b>4,74</b> ±	-	-	<b>5,00</b> ±	-	<b>4,68</b> ±	-	<b>4,66</b> ±	<b>4,48</b> ±	<b>4,87</b> ±	<b>4,78</b> ±	-	<b>4,65</b> ±	-
lactose, %	0,20 (10)	0,20 (10)			0,22 (20)		0,18 (9)		0,15 (3)	0,36 (4,0)	0,60 (4)	0,16 (19)		0,22 (6)	
Production	<b>904</b> ±	<b>878</b> ±	<b>816</b> ±	<b>1149</b> ±	<b>1274</b> ±	<b>1260</b> ±	<b>1025</b> ±	<b>1,43</b> ±	<b>995</b> ±	<b>987</b> ±	<b>668</b> ±	<b>1130</b> ±	<b>873</b> ±	<b>1064</b> ±	<b>1118</b> ±
MG, g/j	205 (14)	302 (13)	293 (4)	189 (7)	256 (36)	52 (4)	222 (10)	111 (10)	112 (6)	213 (12)	433 (6)	149 (22)	249 (7)	148 (14)	101 (3)
Production	<b>804</b> ±	<b>762</b> ±	<b>813</b> ±	<b>1043</b> ±	<b>1094</b> ±	<b>1103</b> ±	<b>938</b> ±	<b>869</b> ±	<b>966</b> ±	<b>868</b> ±	<b>649</b> ±	<b>1021</b> ±	<b>830</b> ±	<b>985</b> ±	<b>966</b> ±
protéine, g/j	214 (14)	212 (13)	294 (4)	200 (7)	253 (36)	45 (4)	239 (10)	79 (10)	225 (6)	169 (12)	262 (6)	96 (22)	170 (7)	142 (14)	55 (3)
Production	<b>1369</b> ±	<b>1032</b> ±	-	-	<b>1998</b> ±	-	<b>1328</b> ±	-	<b>1217</b> ±	<b>1324</b> ±	<b>1049</b> ±	<b>1669</b> ±	-	<b>1662</b> ±	-
lactose, g/j	306 (10)	342 (10)			205 (20)		414 (9)		399 (3)	356 (4)	647 (4)	190 (18)		397 (6)	

Tableau B7 (continuation)

	Colza	Coton	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>3</sup>	
	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	O	T
Ingestion de MS, kg/j	<b>19,0</b> ± 3,8 (63)	<b>23,6</b> ± 3,2 (39)	<b>19,1</b> ± 2,6 (34)	<b>20,7</b> ± 3,5 (65)	<b>20,7</b> ± 2,8 (24)	NS	NS
Production de lait, kg/j	<b>27,1</b> ± 7,8 (70)	<b>33,7</b> ± 8,4 (35)	<b>27,5</b> ± 6,9 (36)	<b>30,2</b> ± 8,5 (70)	<b>31,3</b> ± 5,7 (24)	NS	**
Production de lait 4%, kg/j	<b>25,0</b> ± 6,6 (68)	<b>33,0</b> ± 6,9 (39)	<b>26,2</b> ± 5,5 (35)	<b>27,3</b> ± 8,0 (70)	<b>27,9</b> ± 4,5 (24)	NS	**
Taux butyreux, %	<b>3,52</b> ± 0,60 (68)	<b>3,61</b> ± 0,35 (39)	<b>3,71</b> ± 0,63 (35)	<b>3,29</b> ± 0,46 (71)	<b>3,24</b> ± 0,53 (27)	NS	**
Taux protéique, %	<b>3,15</b> ± 0,30 (66)	<b>3,11</b> ± 0,12 (39)	<b>3,27</b> ± 0,19 (35)	<b>3,07</b> ± 0,26 (69)	<b>3,17</b> ± 0,24 (27)	+	***
Taux de lactose, %	<b>4,80</b> ± 0,22 (41)	<b>4,96</b> ± 0,19 (20)	<b>4,71</b> ± 0,16 (22)	<b>4,76</b> ± 0,19 (47)	<b>4,80</b> ± 0,18 (13)	NS	**
Production MG, g/j	<b>931</b> ± 247 (38)	<b>1281</b> ± 236 (39)	<b>1054</b> ± 194 (28)	<b>1009</b> ± 265 (50)	<b>1073</b> ± 141 (17)	NS	**
Production protéine, g/j	<b>834</b> ± 235 (38)	<b>1102</b> ± 234 (39)	<b>918</b> ± 198 (25)	<b>910</b> ± 187 (50)	<b>982</b> ± 141 (17)	NS	*
Production lactose, g/j	<b>1217</b> ± 348 (22)	<b>1988</b> ± 202 (21)	<b>1322</b> ± 415 (13)	<b>1537</b> ± 345 (31)	<b>1598</b> ± 380 (8)	NS	**

<sup>1</sup> Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots.

<sup>2</sup> Traitement technologique : NT - non traitées, MEC - mécanique, EX - extrusion, CH - chimique, CS - chaleur sèche.

<sup>3</sup> Effets : O - origine botanique et T- traitement technologique ; \*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

**Tableau B8:** Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur les caractéristiques de performances laitières des vaches<sup>1</sup>.

	Colza			Soja		Colza	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>4</sup>	
	HL <sup>2</sup>	SC	AM	HL	SC	<i>Total</i>	<i>Total</i> <sup>3</sup>	<i>Total</i>	<i>Total</i> <sup>3</sup>	O	T
Ingestion MS, Kg/j	<b>18,7</b> ± 3,7 (11)	<b>20,4</b> ± 3,7 (10)	<b>16,8</b> ± 4,7 (5)	<b>20,4</b> ± 3,6 (13)	<b>23,3</b> ± 1,8 (3)	<b>19,0</b> ± 3,7 (26)	<b>18,8</b> ± 2,2 (5)	<b>21,4</b> ± 3,9 (16)	<b>19,8</b> ± 0,88 (5)	NS	NS
Production lait, kg/j	<b>28,4</b> ± 7,8 (11)	<b>30,6</b> ± 8,3 (10)	<b>27,2</b> ± 7,7 (5)	<b>27,8</b> ± 9,4 (15)	<b>41,3</b> ± 3,7 (3)	<b>29,01</b> ± 7,4 (26)	<b>26,3</b> ± 6,1 (5)	<b>30,81</b> ± 11,5 (18)	<b>27,9</b> ± 3,91 (5)	NS	NS
Production lait 4%, kg/j	<b>26,0</b> ± 7,1 (11)	<b>27,0</b> ± 6,5 (10)	<b>26,2</b> ± 6,0 (5)	<b>24,4</b> ± 8,8 (15)	<b>40,3</b> ± 7,8 (3)	<b>26,41</b> ± 6,1 (26)	<b>22,0</b> ± 3,5 (5)	<b>28,58</b> ± 10,2 (18)	<b>23,18</b> ± 2,96 (5)	NS	NS
Taux butyreux, %	<b>3,45</b> ± 0,55 (11)	<b>3,46</b> ± 0,85 (10)	<b>3,85</b> ± 0,41 (5)	<b>2,93</b> ± 0,57 (15)	<b>3,81</b> ± 0,72 (3)	<b>3,53</b> ± 0,64 (26)	<b>3,04</b> ± 0,93 (5)	<b>3,15</b> ± 0,67 (18)	<b>2,89</b> ± 0,49 (5)	NS	NS
Taux protéique, %	<b>3,20</b> ± 0,27 (10)	<b>2,94</b> ± 0,37 (10)	<b>3,22</b> ± 0,24 (5)	<b>3,28</b> ± 0,29 (15)	-	<b>3,10</b> ± 0,33 (25)	<b>3,16</b> ± 0,12 (5)	<b>3,28</b> ± 0,29 (15)	<b>3,36</b> ± 0,19 (5)	*	NS
Taux de lactose, %	<b>4,75</b> ± 0,32 (4)	<b>4,81</b> ± 0,31 (9)	-	<b>4,71</b> ± 0,13 (10)	<b>4,84</b> ± 0,2 (3)	<b>4,81</b> ± 0,30 (15)	<b>4,73</b> ± 0,10 (4)	<b>4,78</b> ± 0,14 (13)	<b>4,67</b> ± 0,49 (4)	NS	NS
Production MG, g/j	<b>976</b> ± 281 (11)	<b>998</b> ± 211 (10)	<b>1012</b> ± 194 (5)	<b>805</b> ± 305 (15)	<b>1563</b> ± 393 (3)	<b>991</b> ± 219 (26)	<b>766</b> ± 148 (5)	<b>981</b> ± 340 (18)	<b>802</b> ± 139 (5)	NS	NS
Production protéine, g/j	<b>889</b> ± 200 (10)	<b>881</b> ± 232 (10)	<b>858</b> ± 186 (5)	<b>887</b> ± 253 (15)	-	<b>880</b> ± 202 (25)	<b>823</b> ± 198 (5)	<b>887</b> ± 253 (15)	<b>916</b> ± 131 (5)	NS	NS
Production lactose, g/j	<b>1519</b> ± 681 (4)	<b>1479</b> ± 455 (9)	-	<b>1258</b> ± 548 (10)	<b>2000</b> ± 182 (3)	<b>1526</b> ± 489 (15)	<b>1142</b> ± 219 (4)	<b>1513</b> ± 655 (13)	<b>1240</b> ± 125 (4)	NS	NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

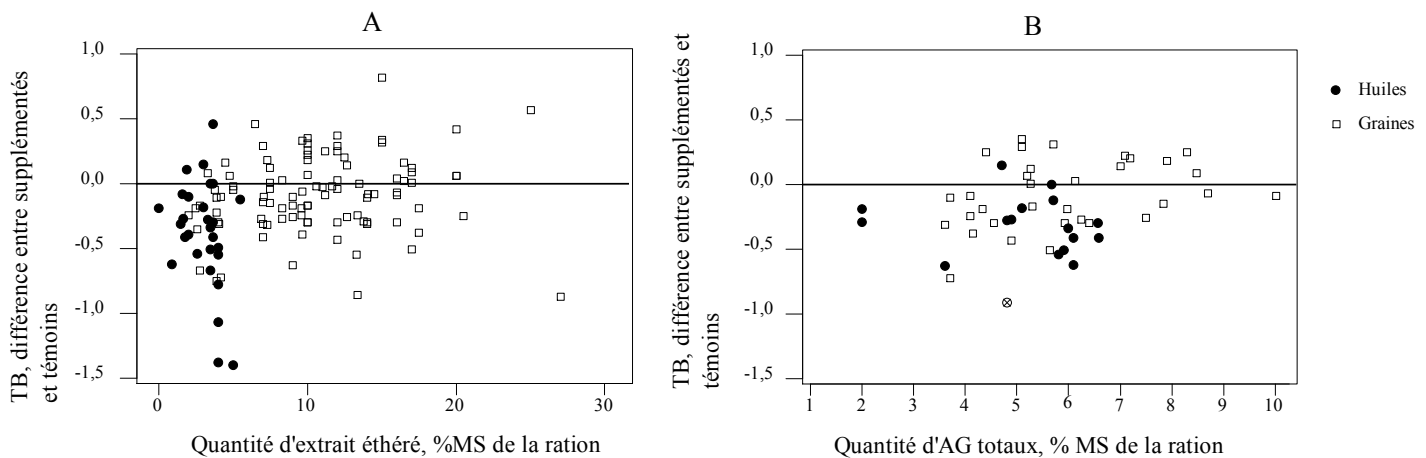
<sup>2</sup>Traitement technologique : HL - huiles non traitées /AG libre ; SC - sels de calcium ; AM - amides <sup>3</sup>Huiles non traitées

<sup>4</sup>Effets : O - origine botanique et T- traitement technologique ; \*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

### 3.2. Taux butyreux

La réponse du TB à l'apport de lipides (graines ou huiles) est variable, sans que cette variation ne soit liée à la teneur en AG ou en EE de la ration (Figure B2); par contre, les réductions de TB sont plus fréquentes et plus marquées (Tableau B6) lors de l'utilisation d'huiles que de graines: ainsi, des réductions supérieures à 30% du TB des lots témoins ont été observées par Piperova et al. (2000) avec de l'huile de soja et par Chouinard et al. (1998) avec de l'huile de colza (sous forme de savon de calcium). Parmi les expérimentations de la base de données, aucune n'a montré d'augmentation significative du TB quand l'huile a été apportée sous forme non protégée.

L'effet des graines d'OP sur le TB semble être un reflet de la dilution de la MG dans une quantité de lait plus importante (effet non significatif sur la production de MG - Tableau B6) tandis que l'addition d'huile a provoqué une réduction de la production de MG.

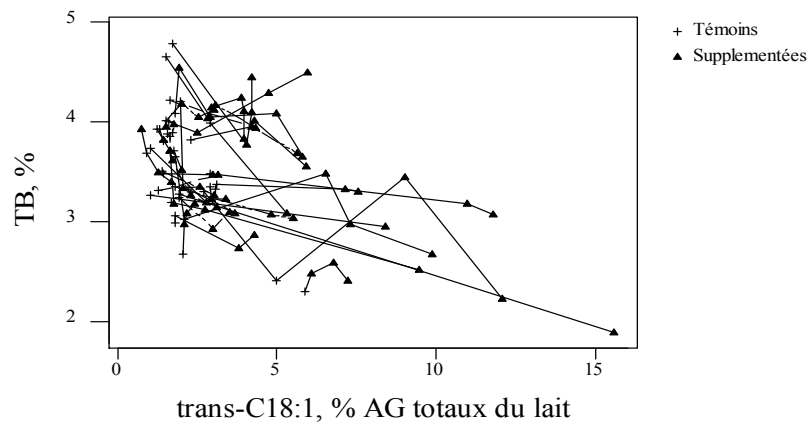


**Figure B2 :** Ecart de TB (%) entre le lait des lots témoins et supplémentés en OP sous forme d'huiles ou de graines selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (A : extrait étheré, B : AGT).

Les effets de l'apport lipidique sur la réduction de la production de MG dépendent principalement de la quantité ajoutée, de la digestibilité ou de la protection de la source lipidique, et aussi du rapport C/F de la ration (Palmquist et al., 1993). On note une baisse du TB plus marquée quand la MG est ajoutée à des rations riches en concentré qu'à des rations avec moins de 50% de concentré (Loor et al., 2005a). Un autre facteur à prendre en

considération lors de la supplémentation lipidique est le stade physiologique. Quand les données de TB ont été stratifiées par stade de lactation, l'effet inhibiteur des graines sur le TB n'était significatif qu'en début et au pic de lactation. La production de MG n'a pas été significativement modifiée durant ces 2 stades, et il y a même eu une augmentation significative en milieu de lactation. En revanche, l'apport d'huile a diminué le TB et la production de MG pendant les quatre stades de lactation identifiés (Tableau B6).

Des modifications des fermentations ruminales (altérations du profil des AGV et accumulation d'intermédiaires de la biohydrogénation) sont à l'origine des chutes du TB induites par l'apport lipidique (Kennely, 1996a, Ashes et al., 1997, Bauman et Griinari, 2001). Les modifications du profil des AGV se caractérisent par un accroissement de la proportion du propionate au détriment de celle de l'acétate, diminuant ainsi le rapport acétate/propionate (A/P) (Jenkins, 1993, Kennely, 1996a, Bauman et Griinari, 2001). L'acétate est un des principaux précurseurs (source de carbone et d'énergie) de la synthèse des AG courts et moyens dans la glande mammaire et sa carence au niveau mammaire peut induire une réduction de la synthèse mammaire *de novo* des AG (voir item 4.1.). Par ailleurs, l'augmentation du propionate peut stimuler la sécrétion d'insuline, ce qui favorise la lipogenèse dans le tissu adipeux, diminuant l'afflux de précurseurs pour la synthèse mammaire (Barber et al., 1997, Bauman et Griinari, 2001). Toutefois, ces variations du profil des AGV sont surtout une conséquence d'une alimentation riche en concentré (principalement en présence d'une baisse du pH ruminal) que d'une supplémentation lipidique. Par ailleurs, ces modifications ne sont probablement les seules phénomènes à l'origine de l'amplitude des chutes de TB (Jenkins, 1993, Bauman et Griinari, 2001) puisque des réductions du TB peuvent être observées chez des vaches supplémentées en lipides dont le profil en AGV est identique de celui des animaux témoins (Chelikani et al., 2004, Chichlowski et al., 2005).

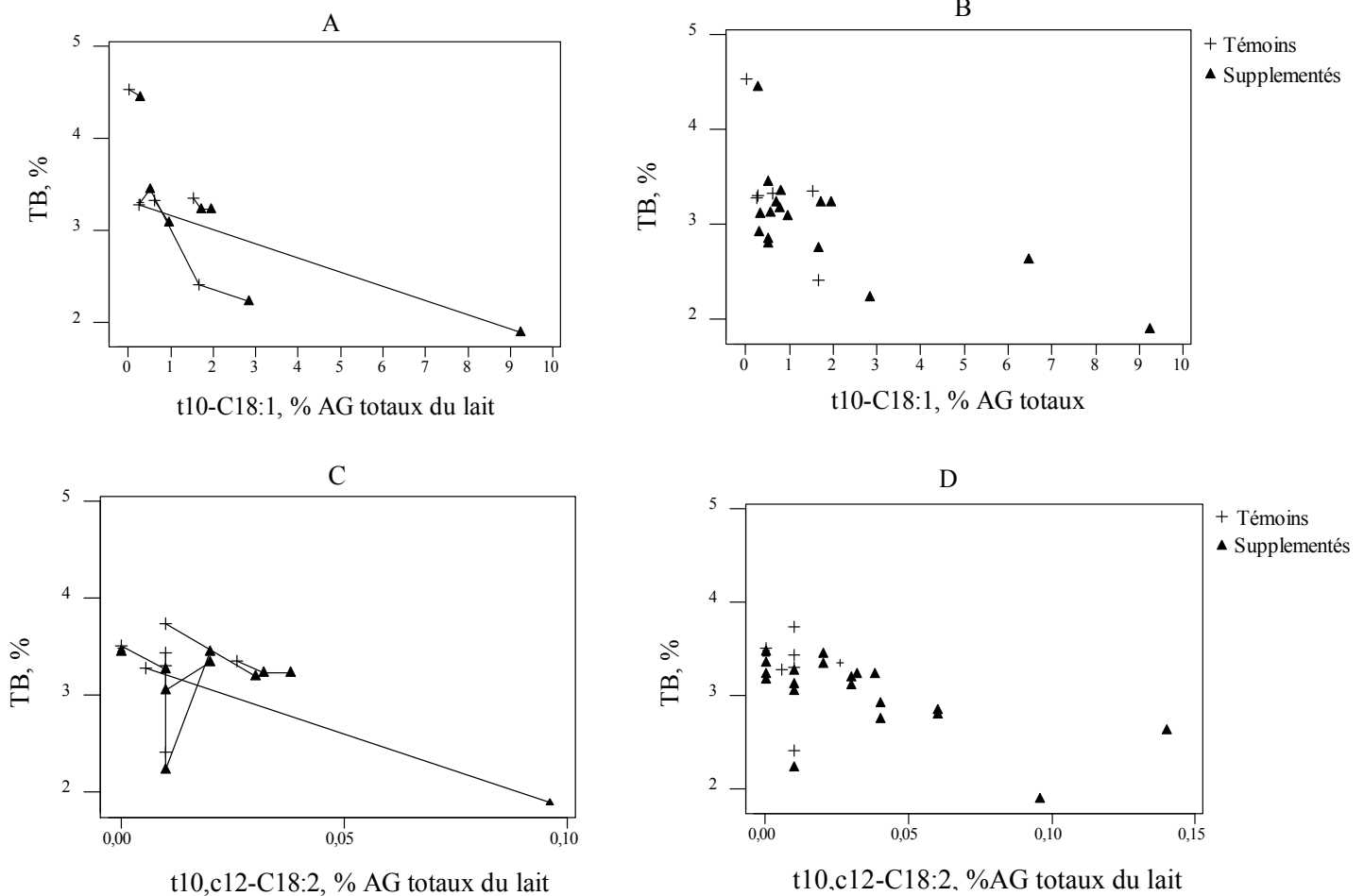


**Figure B3:** Relation entre TB et proportion des AG *trans*-C18:1 totaux dans la MG du lait chez la vache laitière (données issues des articles ‘témoins vs. supplémentés’).

Les différents isomères positionnels du *trans*-C18:1 et du CLA ne sont pas tous impliqués dans la diminution du TB. Des infusions post-ruminales (abomasum) des différents isomères CLA ont montré que le t10,c12-C18:2 est impliqué dans la réduction du TB (Baumgard et al., 2000, Looor et Herbein, 2003b, Perfield et al., 2004). Il est cependant possible que le t10-C18:1 soit aussi impliqué (voir 2<sup>ème</sup> partie - **aspects métaboliques**). En compilant tous les résultats de la base de données (articles ‘témoins vs. supplémentés’ et articles ‘iso-lipides’), nous avons observé que le TB du lait est inversement relié aux teneurs en t10-C18:1, et en t10,c12-C18:2 du lait selon les relations (Figure B4):

$$\text{TB, \%} = 3,37 - 0,17 \times \text{t10-C18:1 (\% AGT)} ; r^2=24,2 ; \text{etr}=0,47 ; n=23 \text{ et}$$

$$\text{TB, \%} = 3,30 - 7,77 \times \text{t10,c12-C18:2} ; r^2=34,8 ; \text{etr}=0,34 ; n=29$$



**Figure B4 :** Relation entre le TB et les teneurs en t10-C18:1 (A - articles 'témoins vs. supplémentés' ; B - articles 'témoins vs. supplémentés' et articles 'iso-lipides') et en t10,c12-C18:2 dans la MG du lait (C - articles 'témoins vs. supplémentés' ; D - articles 'témoins vs. supplémentés' et articles 'iso-lipides')

Des comparaisons directes entre les différentes graines d'OP montrent des résultats variables sur le TB. Avec des huiles (colza, tournesol et lin) sous forme de savons de calcium, Chouinard et al. (1998) ont montré que, par rapport au groupe témoin, les réductions du TB étaient plus accentuées quand l'insaturation de la source lipidique diminuait. Cependant, ce même type de réponse n'a pas été observé avec différentes graines (Ward et al., 2002, Collomb et al., 2004b). La comparaison des TB de vaches alimentées avec des sources végétales riches en acide oléique (colza ou tournesol oléique) ou en linoléique (tournesol classique ou soja) montre soit une absence d'effet sur le TB (Kalscheur et al., 1997a, Loor et Herbein, 2003a), soit une diminution du TB par les graines de tournesol classique par rapport à celles riches en acide oléique (Middaugh et al., 1988). La comparaison entre différentes

sources d'acide linoléique donne aussi des résultats variables. Zheng et al. (2005) ont observé une diminution du TB chez des vaches alimentées avec de l'huile de soja par rapport à celles supplémentées avec du coton, tandis que dans les études de Schingoethe et al. (1996) et Dhiman et al. (1999) aucune différence de TB n'a été obtenue entre les animaux recevant les graines de ces deux OP. Il y a aussi peu de différence entre le TB des animaux alimentés en graines de soja (Petit, 2002, Secchiari et al, 2003) ou de tournesol (Petit, 2003, Collomb et al., 2004b) par rapport à ceux supplémentés en lin. Dans notre base de données l'effet de la source de lipides sur le TB n'a pas été significatif, mais les TB les plus forts ont été observés avec la supplémentation en lin, surtout avec des graines soumises à des traitements mécaniques, plus faibles avec le soja, principalement dans le groupe MEC et le tournesol et intermédiaires avec le colza et le coton. Quand les OP ont été ajoutées sous forme d'huile, les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec le colza.

Les différents traitements technologiques appliqués aux OP ont un impact important sur le TB (Tableau B7). Comme observé pour la PL, les graines dont l'enveloppe est peu digestible (colza) ont peu d'impact sur le TB si elles ne sont pas traitées; cependant les différents traitements appliqués (Tableau B7) donnent des résultats variables. Par rapport aux rations non supplémentées, l'apport de colza sous forme de graines extrudées ou de savons d'AG réduit le TB, tandis que les graines entières ou broyées n'ont pas d'effet significatif (Bayourthe et al., 2000). Par ailleurs, l'apport de colza sous forme de graines traitées au peroxyde d'azote alcalin (Aldrich et al., 1997) augmente le TB par rapport au colza broyé. Enfin, le traitement de graines de colza par du formaldéhyde n'induit pas d'effet sur le TB en comparaison des graines non traitées ou au groupe témoin (Delbecchi et al., 2001). Les traitements de graines de tournesol (chauffage, extrusion), lin (traitement chimique, micronisation) ou de soja (broyage, micronisation, chauffage et extrusion à différentes températures) ont peu d'impact sur le TB (McGuffey et Schingoethe, 1982, Mohamed et al., 1988, Chouinard et al., 1997a/b, Offer et al., 2001, Mustafa et al., 2003).

*Contrairement aux vaches laitières, la supplémentation lipidique ne provoque pas de chute du TB chez la chèvre laitière, même avec des huiles ajoutées à des rations riches (70%) en concentré (Schmidely et Sauvart, 2001, Chilliard et al. 2003, Chilliard et Ferlay, 2004). Bien au contraire, on observe généralement un accroissement du TB. Selon Schmidely et Sauvart (2001), les changements du TB sont plus marqués, mais plus variables (parfois des réductions), avec des huiles non protégées qu'avec des graines. A titre d'exemple, le TB du lait de chèvre a été augmenté par l'apport d'huile de colza (+9 à*

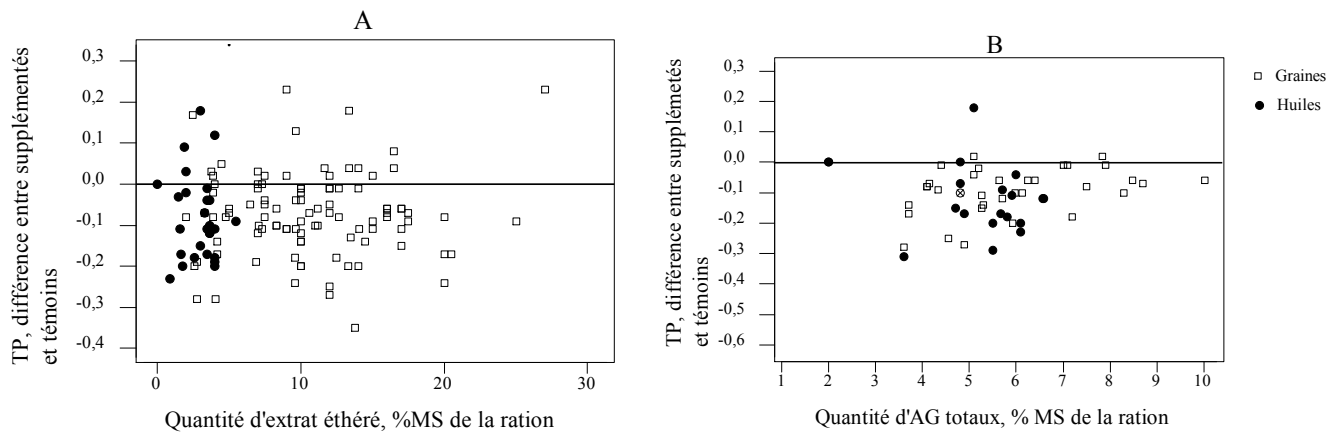


*25% - Mir et al., 1999), de tournesol oléique (+22% - Bernard et al., 2005b), de graines de soja (+10 à 15% - Schmidely et al., 2005) ou de lin (+19% - Bernard et al., 2005b). Les raisons de cette différence de réponse entre vaches et chèvres à l'apport de MG ne sont pas connues. Elles peuvent être liées à des différences d'origine digestive ou métabolique (synthèse de MG dans la glande mammaire). Certains de ces aspects sont discutés plus loin dans la 2<sup>ème</sup> partie - discussion générale.*

### 3.3. Taux protéique

Chez les vaches laitières, le TP du lait est souvent réduit par l'apport de lipides sous forme de graines ou d'huiles (Tableau B6, Figure B5). Ce phénomène serait moins un effet direct des lipides qu'un reflet de leurs effets sur le métabolisme des autres composants du lait: la synthèse du lactose serait favorisée, et une plus grande production de lait serait obtenue, conduisant à un processus de dilution des protéines synthétisées (Wu et Huber, 1994, Schingoethe, 1996). Toutefois, une diminution de la synthèse de protéines mammaires a également été observée, puisque les réductions des teneurs en caséine sont plus accentuées que celles des protéines plasmatiques captées par les cellules mammaires (Wu et Huber, 1994). Dans les données que nous avons analysées, la production de protéines a été réduite par l'apport d'huile, mais pas par les graines (Tableau B6).

La synthèse diminuée de protéines a été attribuée à des modifications du métabolisme hormonal (principalement de l'insuline) et/ou un déficit de glucose qui diminueraient la disponibilité en énergie pour la synthèse des protéines (Wu et Huber, 1994, Khorasani et Kennely, 1998). Certains auteurs (Wu et Huber, 1994, Schingoethe, 1996) ont également suggéré une plus faible disponibilité d'acides aminés pour la synthèse mammaire, suite à la réduction du flux sanguin vers la glande mammaire, sans augmentation de la concentration plasmatique d'acides aminés : ainsi l'augmentation de l'ingestion des protéines ou des acides aminés limitants peut prévenir les diminutions du TP observées avec les lipides (Wu et Huber, 1994). Par ailleurs, Khorasani et Kennely (1998) ont attribué la baisse de la disponibilité en acides aminés par une plus grande utilisation des acides aminés pour la néoglucogenèse afin de palier la réduction de la production de propionate dans le rumen suite à la diminution de l'ingestion de MSI par les lipides.



**Figure B5:** Ecart de TP (, %) entre lots témoins ou supplémentés en OP sous forme d'huile ou de graines selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (A: extrait étheré, B: AGT).

Il ne semble pas y avoir de relation entre la variation du TP et la quantité de lipides ajoutée (Figure B5) et selon Wu et Huber (1994), la diminution du TP ne dépend pas du type de lipides. Dans nos données, l'effet de la nature des graines d'OP était significatif : les valeurs les plus élevées du TP ont été observées avec les graines de lin (Tableau B7).

*Ainsi que pour le TB, la supplémentation lipidique n'a pas d'effet négatif sur le TP du lait de chèvre. Les raisons de cette différence de réponse entre vaches et chèvres ne sont pas connues et peuvent être liées à la disponibilité et/ou l'absorption des nutriments utilisés dans la synthèse mammaire de protéines (Chilliard et al., 2003).*

## 4. Influence de la supplémentation lipidique sur le profil en acides gras du lait

### 4.1. Aspects généraux de la synthèse de la matière grasse du lait

#### 4.1.1. Acides gras synthétisés par la glande mammaire

La MG du lait est composée, en grande majorité, par des triacylglycérols (environ 97-98%), mais aussi par des phospholipides, du cholestérol, des mono- et diacylglycérols, et des AG libres. Le lait est composé d'une grande variété d'AG, dont la longueur de chaîne est comprise entre le C4:0 et le C18:0. Ces AG sont en partie synthétisés par la glande mammaire (synthèse majoritairement *de novo* du C4:0 au C14:0 et une partie du C16:0) ou directement prélevés dans le plasma (une partie du C16:0 et des AG avec 18 C ou plus) et, de manière générale, chacune de ces deux origines contribue pour 50% des AG du lait (Bauman et Davis, 1974, Chilliard et al., 2001, Clegg et al., 2001, Lock et Bauman, 2004).

Chez la vache laitière, la synthèse mammaire des AG jusqu'à 16 C utilise comme principale source de carbone et d'énergie l'acétate issu des fermentations ruminales des glucides alimentaires, mais aussi le  $\beta$ -hydroxybutyrate issu du métabolisme du butyrate dans l'épithélium ruminal (Bauman et Davis, 1974). Les quatre premiers C des AG synthétisés sont issus de ces deux métabolites, tandis que l'acétate est la principale source des carbones restants (Bauman et Davis, 1974): le  $\beta$ -hydroxybutyrate ne fournit que 15-20% des carbones des AG synthétisés *de novo* par la glande mammaire (Bauman et Davis, 1974, Chilliard et al., 2001). Dans la mamelle, l'acétate est activé en acétyl-CoA utilisé pour la synthèse d'AG par la voie du malonyl-CoA (Bauman et Davis, 1974). Le  $\beta$ -hydroxybutyrate est activé en butyryl-CoA directement incorporé comme une unité de 4 C (Bauman et Davis, 1974). Les enzymes clés participant à la synthèse des AG sont l'acétyl-CoA carboxylase et le complexe AG-synthétase. La première catalyse la transformation de l'acétyl-CoA en malonyl-CoA, réaction qui régule la synthèse d'AG (Bauman et Davis, 1974, Barber et al., 1997, Chilliard et al., 2001, Clegg et al. 2001). Le complexe AG-synthétase est formé de 6 enzymes condensant les unités de 2 C jusqu'à 16 C (Bauman et Davis, 1974, Barber et al., 1997). Le principal produit de ces deux réactions enzymatiques est le C16:0, cependant la synthèse peut être

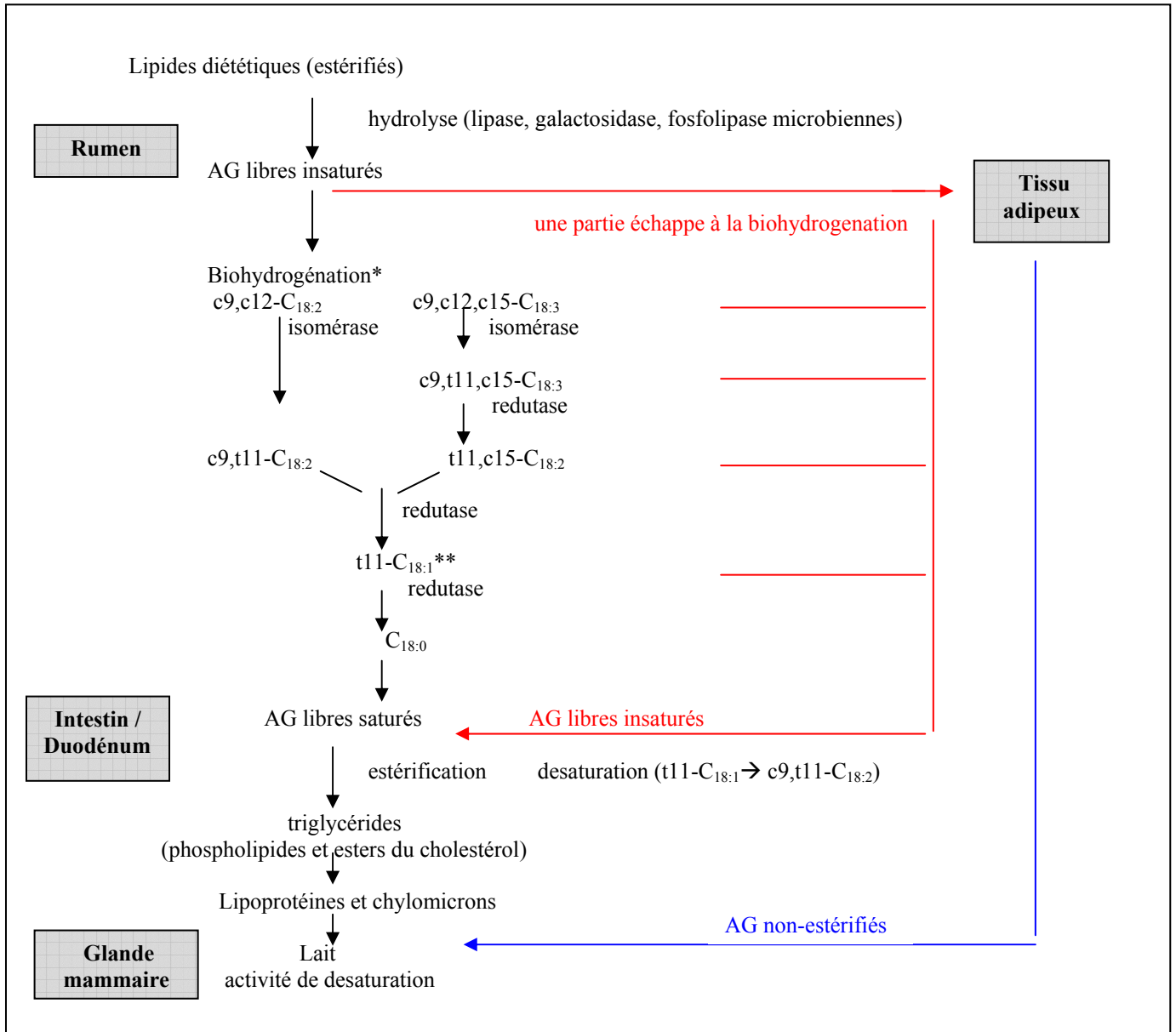
interrompue et des AG plus courts sont aussi libérés par l'action de l'enzyme thioestérase I (Bauman et Davis, 1974, Barber et al., 1997, Chilliard et al., 2001).

*Le lait de chèvre est plus riche en AG moyens, surtout en C10:0 que le lait de vache, mais ses teneurs en C4:0 et parfois en C16:0 sont plus faibles (Chilliard et al., 2003). Ceci peut indiquer une différence de la synthèse des AG entre ces deux espèces, principalement dans l'élongation de la chaîne carbonée des AG (Chilliard et al., 2003).*

#### 4.1.2. Acides gras captés par la glande mammaire

Les AG captés par la glande mammaire sont issus des AG alimentaires qui ont échappé à la biohydrogénation ruminale, et de ceux produits par la biohydrogénation ou synthétisés par les bactéries du rumen (Schéma 1). La mamelle capte également les AGNE issus de la lipolyse des triglycérides stockés dans le tissu adipeux (riches en C16:0, C18:0 et c9-C18:1) : cette dernière origine est quantitativement importante lors de situations de déficit énergétique, comme le début de lactation (Clegg et al., 2001, Chilliard et al., 2001).

Les principaux AG absorbés sont le C16:0 et le C18:0 (voir 2<sup>ème</sup> partie - **aspects digestifs**); toutefois, des AGPI ou des intermédiaires de la biohydrogénation des AG (principalement le t11-C18:1, mais aussi des isomères t4- à t16-C18:1 et plusieurs isomères CLA) peuvent également être absorbés (Schéma 1) et prélevés par la glande mammaire (Harfoot et Hazlewood, 1988, Jenkins, 1993, Bauman et Griinari, 2001, Chilliard et al., 2001, voir 2<sup>ème</sup> partie **aspects digestifs** et **discussion générale**). Dans l'entérocyte, les AG libres sont absorbés et une partie des AG saturés, principalement le C18:0 est desaturée par l'enzyme stéaryl CoA-desaturase ou  $\Delta^9$ -desaturase. Ces AG sont alors estérifiés, puis assemblés sous forme de triglycérides et incorporés dans des chylomicrons ou des lipoprotéines, et enfin captés par la glande mammaire sous l'action de la lipoprotéine lipase qui catalyse l'hydrolyse des triacylglycérols des lipoprotéines (Barber et al., 1997, Clegg et al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004). Les AG hydrolysés rentrent dans les cellules par le « fatty acid translocator » (FAT/CD36) (Clegg et al., 2001). Des AG non-esterifiés complexés à l'albumine provenant de la mobilisation du tissu adipeux peuvent aussi être absorbés par prélèvement direct avec l'aide de la FABP ou « fatty acid binding protein » (Barber et al., 1997, Clegg et al., 2001).



**Schéma 1 :** Voies métaboliques des AG longs captés par la glande mammaire (adapté de Harfoot et Hazlewood, 1988, Jenkins 1993). \*Exemple simplifié de biohydrogénation dans le rumen.

\*\* Principales voies de production de t11-C18:1.

Dans la mamelle, une partie des AG longs, principalement le C18:0, et une petite proportion du C14:0 et du C16:0 est désaturée par la  $\Delta^9$ -désaturase: ceci réduit les effets de l'hydrogénation ruminale et assure la fluidité de la MG nécessaire à sa sécrétion (Chilliard et al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004). Cette enzyme est aussi responsable de la désaturation du t11-C18:1 en c9,t11-C18:2, le principal isomère CLA dans le lait (Griinari et al., 2000), du t7-C18:1 en t7,c9-C18:2 le deuxième isomère CLA (Yurawecz et al., 1998) et probablement d'autres isomères *trans* ce qui contribue à la présence de différents isomères CLA ou du

C18:2 non conjugué dans le lait (Chilliard et Ferlay, 2004). L'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase peut donc être estimée par le rapport de ses produits/substrats, en particulier le ratio c9-C18:1/C18:0 ou c9,t11-C18:2/t11-C18:1.

Les AG à chaîne longue exercent une retro-inhibition sur les enzymes de la lipogenèse *de novo* diminuant la synthèse des AG courts et moyens (Bauman et Davis, 1974, Barber et al., 1997). L'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase peut aussi être réduite par les AG à chaîne longue, comme l'indique la diminution des ratios produits/substrats lors de la supplémentation lipidique (voir item 5.2.2. - Tableau B15). Les différents AG longs n'exercent pas la même inhibition sur la synthèse mammaire (Hansen et Knudsen, 1987): les AG insaturés *trans* (principalement le t10,c12-C18:2) semblent être les plus puissants, l'inhibition par les AGPI s'accroissant avec l'insaturation des AG (Baumgard et al., 2000, Bauman et Griinari, 2001, Chilliard et al., 2001).

*Dans la glande mammaire caprine, une réduction de l'expression des ARNm et de l'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase a été obtenue lors de la supplémentation lipidique (Bernard et al., 2005a). En revanche, contrairement aux observations chez la vache, l'activité des enzymes l'acétyl-CoA carboxylase et l'acide gras synthétase n'a pas été affectée par l'addition de 3,8% des lipides à la ration des chèvres, malgré une légère diminution de la sécrétion des AG de 10-16 C (Bernard et al., 2005a).*

## **4.2. Variations du profil en acides gras du lait lors de la supplémentation lipidique**

### **4.2.1. Acides gras de chaîne courte et moyenne**

L'apport de graines ou d'huiles d'OP réduit la proportion des AG saturés pairs à chaîne courte et moyenne dans le lait (à l'exception du C4:0, Tableau B9), reflétant leur dilution dans une quantité plus importante d'AG à 18 C ou plus (Tableaux B12) ainsi que la diminution de leur synthèse mammaire liée à l'apport d'AG longs. En effet, les AG longs peuvent d'une part concurrencer les AG courts et moyens au niveau de l'incorporation dans les triglycérides (compétition pour l'estérification dans la position sn-3), diminuant la

sécrétion des AG synthétisés, et d'autre part inhiber la synthèse des AG courts et moyens (voir item 4.1.). Ainsi, l'effet plus marqué des huiles que des graines sur la réduction des AG courts et moyens (Tableau B9) s'explique probablement par la plus grande teneur en trans-C18:1 ou en CLA (Tableau B12) inhibiteurs de la synthèse mammaire (voir item 4.2.2.).

**Tableau B9** : Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou en huiles d'oléo-protéagineux<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Apport lipidique sous forme de graine	Apport lipidique sous forme d'huile
C <sub>4:0</sub>	-0,01 ± 0,54 (90) NS	+0,15 ± 0,66 (40) NS
C <sub>6:0</sub>	-0,26 ± 0,30 (108) ***	-0,39 ± 0,36 (43) ***
C <sub>8:0</sub>	-0,25 ± 0,24 (110) ***	-0,38 ± 0,24 (43) ***
C <sub>10:0</sub>	-0,87 ± 0,54 (116) ***	-1,22 ± 0,56 (43) ***
C <sub>12:0</sub>	-1,15 ± 0,62 (116) ***	-1,40 ± 0,53 (44) ***
C <sub>14:0</sub>	-2,24 ± 1,14 (116) ***	-2,88 ± 1,47 (50) ***
C <sub>16:0</sub>	-6,59 ± 3,75 (116) ***	-8,00 ± 3,21 (50) ***
Σ C <sub>16:1</sub>	-0,47 ± 0,51 (102) ***	-0,28 ± 0,37 (48) ***
<i>cis</i> -C <sub>16:1</sub> <sup>2</sup>	-0,35 ± 0,14 (10) ***	-0,67 ± 0,67 (14) ***
<i>trans</i> -C <sub>16:1</sub> <sup>3</sup>	+0,08 ± 0,07 (10) **	-0,10 ± 0,26 (11) NS

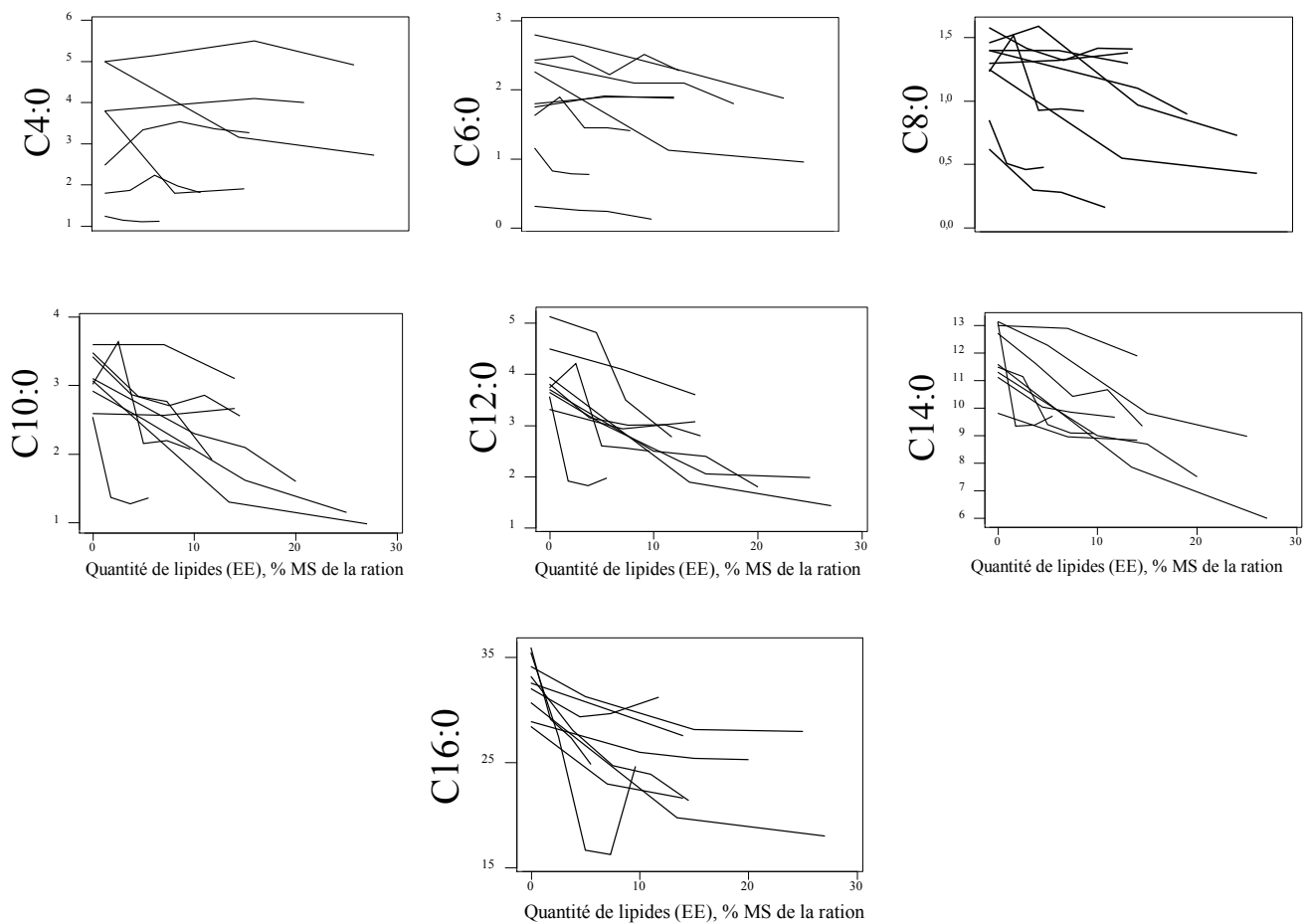
<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>c9-C16:1 et c11-C16:1                      <sup>3</sup>t9-C16:1

<sup>4</sup>\*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif

L'amplitude de la réduction est plus marquée pour les AG à chaîne moyenne (Figure B6, C<sub>10:0</sub>= 2,93-0,07x,  $r^2=35,8$ ,  $etr=0,62$  ; C<sub>12:0</sub>=3,67-0,08x,  $r^2=40,4$ ,  $etr=0,72$  et C<sub>14:0</sub>=11,5-0,17x,  $r^2=49,0$ ,  $etr=1,24$ ). La teneur en C<sub>4:0</sub> du lait n'est pas influencée par la supplémentation lipidique (Tableau B9, Palmquist et al., 1993) puisque la synthèse peut s'initier à partir d'unité C<sub>4</sub>. Par ailleurs, les AG courts, principalement le C<sub>4:0</sub> et le C<sub>6:0</sub>, sont aussi synthétisés par des voies indépendantes de l'acétyl-CoA carboxylase et leur synthèse est donc moins sensibles à l'inhibition que celle des AG à chaînes plus longues (Chilliard et al., 2001). Malgré la double origine du C<sub>16:0</sub>, les teneurs en cet AG ont été diminuées lors de la supplémentation en graines et en huiles d'OP (Tableau B9). La proportion du C<sub>16:1</sub> total

(principalement des *cis*-C16:1) est aussi réduite par l'apport des lipides, principalement à doses élevées (Figure B6,  $C16:0=30,0-0,37x$ ,  $r^2=29,4$ ,  $etr=4,26$ ). La diminution des AG courts et moyens dépend aussi de la quantité de lipides ajoutée à la ration. Ainsi, les pourcentages de C14:0 à C17:0 dans le lait ont diminué et ceux de C18:0 à C18:2 totaux ont augmenté de façon linéaire avec l'augmentation de l'incorporation de graines de colza dans la ration (Khorasani et Kennely, 1998). Une réduction linéaire de la teneur des AG C10:0-C17:0 a aussi été obtenue chez des chèvres recevant 10 ou 20% des graines de soja (Schmidely et al., 2005) par rapport à celles recevant une ration non supplémentée.



**Figure B6** : Variation des teneurs en AG courts et moyens du lait de vache (C4:0-C14:0, % AGT) selon la quantité de lipides ajoutée à la ration (% MS). Données issues d'articles évaluant l'influence de la quantité de lipide sur la composition en AG du lait (Clapperton et al. (1980), Smith et al. (1981), Rafalowski et Park (1982), DePeters et al. (1985), Wiesen et al. (1990), Khorasani et al. (1991), Jenkins et Jenny (1992), Khorasani et Kennely (1998) et Givens et al. (2003)).



Peu d'effets sur les teneurs du lait en AG saturés courts (C4:0 à C8:0) et moyens (C12:0 à C14:0), sur le C14:1 et le C16:1 sont attribuables à l'origine botanique de l'OP, sous forme de graines (Tableau B10) ou d'huiles (Tableau B11) Les teneurs en C16:0 sont plus élevées dans le lait de vaches supplémentées en graine de coton que dans celui de tous les autres traitements (effet:  $P < 0,10$ ). Ceci pourrait résulter d'une biohydrogénation ruminale plus importante des AG des graines de coton (les teneurs de C18:0 sont aussi élevées dans ce groupe - Tableau B13) en raison de la façon dont ces graines sont présentées (non traitées) et de leur composition (riches en fibres). Il est également possible que la teneur élevée des graines de coton en acide sterculique inhibiteur de la  $\Delta 9$ -désaturase (Bauman et al., 1999) soit responsable de l'accroissement du C16:0 et du C18:0. Remarquons qu'il est difficile de séparer l'effet de la nature de l'OP de l'effet de la quantité de lipides ajoutée à la ration.

**Tableau B10:** Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Colza				Coton		Lin			Soja				Tournesol	
	NT <sup>2</sup>	MEC	EX	CH	NT	EX	NT	MEC	CH	NT	MEC	EX	CS	NT	MEC
C <sub>4:0</sub>	<b>2,63</b> ± 0,96 (5)	<b>2,93</b> ± 0,35 (12)	-	<b>2,18</b> ± 0,35 (12)	<b>4,21</b> ± 0,51 (27)	-	<b>3,05</b> ± 0,66 (5)	-	<b>2,00</b> ± 1,20 (4)	<b>2,71</b> ± 0,68 (9)	<b>3,49</b> ± 1,04 (5)	<b>4,42</b> ± 1,13 (24)	<b>3,53</b> ± 0,45 (7)	<b>3,37</b> ± 0,83 (7)	<b>2,86</b> ± 0,52 (3)
C <sub>6:0</sub>	<b>1,99</b> ± 0,36 (15)	<b>1,81</b> ± 0,43 (13)	-	<b>1,83</b> ± 0,58 (6)	<b>2,34</b> ± 0,60 (33)	-	<b>2,11</b> ± 0,35 (5)	<b>2,21</b> ± 0,08 (4)	<b>1,85</b> ± 0,44 (5)	<b>2,11</b> ± 0,56 (10)	<b>2,20</b> ± 0,46 (7)	<b>2,41</b> ± 0,72 (24)	<b>2,50</b> ± 0,28 (7)	<b>1,74</b> ± 1,09 (12)	<b>2,36</b> ± 0,37 (3)
C <sub>8:0</sub>	<b>1,24</b> ± 0,21 (15)	<b>1,13</b> ± 0,31 (14)	-	<b>1,32</b> ± 0,43 (7)	<b>1,32</b> ± 0,74 (33)	-	<b>1,30</b> ± 0,28 (5)	<b>1,49</b> ± 0,13 (4)	<b>1,21</b> ± 0,47 (5)	<b>1,19</b> ± 0,23 (10)	<b>1,30</b> ± 0,27 (7)	<b>1,31</b> ± 0,38 (24)	<b>1,45</b> ± 0,18 (7)	<b>1,55</b> ± 0,45 (3)	<b>0,90</b> ± 0,46(12)
C <sub>10:0</sub>	<b>2,72</b> ± 0,54 (15)	<b>2,51</b> ± 0,75 (14)	-	<b>3,05</b> ± 0,90 (7)	<b>2,42</b> ± 0,69 (33)	-	<b>3,15</b> ± 0,97 (8)	<b>2,65</b> ± 0,65 (4)	<b>2,85</b> ± 0,25 (6)	<b>2,40</b> ± 0,75 (10)	<b>2,82</b> ± 0,81 (7)	<b>2,75</b> ± 0,68 (25)	<b>3,26</b> ± 0,53 (7)	<b>2,28</b> ± 0,53 (16)	<b>3,41</b> ± 1,10 (3)
C <sub>12:0</sub>	<b>3,09</b> ± 0,63 (15)	<b>2,91</b> ± 0,82 (14)	-	<b>3,46</b> ± 0,99 (7)	<b>2,64</b> ± 0,59 (33)	-	<b>3,70</b> ± 1,14 (25)	<b>2,84</b> ± 0,87 (4)	<b>3,29</b> ± 0,26 (6)	<b>2,70</b> ± 0,62 (10)	<b>2,96</b> ± 0,55 (7)	<b>3,00</b> ± 0,64 (25)	<b>3,34</b> ± 0,33 (7)	<b>2,74</b> ± 0,79 (16)	<b>3,47</b> ± 0,61 (3)
C <sub>14:0</sub>	<b>10,54</b> ± 1,13 (15)	<b>9,90</b> ± 1,78 (14)	-	<b>10,63</b> ± 2,14 (7)	<b>9,98</b> ± 1,49 (35)	-	<b>11,26</b> ± 2,29 (8)	<b>9,16</b> ± 1,25 (10)	<b>10,47</b> ± 0,67 (6)	<b>10,25</b> ± 2,15 12	<b>9,10</b> ± 1,05 (7)	<b>9,34</b> ± 1,45 25	<b>10,15</b> ± 0,48 (7)	<b>9,38</b> ± 1,35 (16)	<b>11,00</b> ± 1,40 (3)
C <sub>14:1</sub>	<b>1,56</b> ± 0,53 (11)	<b>1,05</b> ± 0,28 (11)	-	<b>0,99</b> ± 0,30 (6)	<b>0,86</b> ± 0,30 (24)	-	<b>1,11</b> ± 0,42 (7)	<b>0,80</b> ± 0,16 (4)	<b>1,18</b> ± 0,32 (6)	<b>1,06</b> ± 0,31 (7)	<b>1,26</b> ± 0,37 (6)	<b>1,07</b> ± 0,36 (24)	<b>0,95</b> ± 0,27 (7)	<b>1,16</b> ± 0,38 (10)	<b>1,03</b> ± 0,06 (2)
C <sub>16:0</sub>	<b>24,35</b> ± 4,03 (15)	<b>23,09</b> ± 5,35 (14)	-	<b>24,53</b> ± 4,10 (7)	<b>29,11</b> ± 2,36 (35)	-	<b>26,34</b> ± 3,51 (8)	<b>22,54</b> ± 4,15 (10)	<b>24,25</b> ± 4,72 (6)	<b>26,79</b> ± 3,72 (12)	<b>22,91</b> ± 1,92 (7)	<b>21,83</b> ± 4,52 (25)	<b>24,53</b> ± 2,19 (7)	<b>24,26</b> ± 3,84 (16)	<b>22,70</b> ± 2,23 (3)
Σ C <sub>16:1</sub>	<b>1,66</b> ± 0,49 (13)	<b>2,12</b> ± 1,36 (14)	-	<b>1,49</b> ± 0,84 (7)	<b>1,95</b> ± 1,02 (32)	-	<b>1,47</b> ± 0,46 (8)	<b>1,08</b> ± 0,07 (4)	<b>2,07</b> ± 0,44 (6)	<b>1,90</b> ± 0,41 (7)	<b>2,14</b> ± 0,76 (7)	<b>2,01</b> ± 0,75 (25)	<b>1,54</b> ± 0,47 (7)	<b>2,29</b> ± 1,04 (13)	-
<i>cis</i> -C <sub>16:1</sub>	-	-	-	-	<b>1,57</b> ± 0,60 (19)	-	-	-	-	-	-	<b>1,18</b> ± 0,13 (5)	-	-	-
<i>trans</i> -C <sub>16:1</sub>	-	-	-	-	<b>0,52</b> ± 0,42 (19)	-	-	-	-	-	-	<b>0,71</b> ± 0,07 (5)	-	-	-

Tableau B10 (continuation)

	Colza	Coton	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>2</sup>	
	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>O</i>	<i>T</i>
C <sub>4:0</sub>	<b>2,68</b> ± 0,79 (33)	<b>4,21</b> ± 0,79 (27)	<b>2,69</b> ± 1,07 (11)	<b>3,83</b> ± 1,12 (47)	<b>3,22</b> ± 0,71 (10)	NS	NS
C <sub>6:0</sub>	<b>1,82</b> ± 0,42 (35)	<b>2,34</b> ± 0,27 (33)	<b>2,05</b> ± 0,32 (14)	<b>2,32</b> ± 0,60 (50)	<b>1,83</b> ± 0,92 (15)	NS	***
C <sub>8:0</sub>	<b>1,22</b> ± 0,30 (37)	<b>1,32</b> ± 0,19 (33)	<b>1,32</b> ± 0,28 (14)	<b>1,32</b> ± 0,31 (50)	<b>1,03</b> ± 0,48 (15)	NS	NS
C <sub>10:0</sub>	<b>2,71</b> ± 0,69 (37)	<b>2,44</b> ± 0,43 (34)	<b>2,94</b> ± 0,78 (18)	<b>2,79</b> ± 0,71 (52)	<b>2,45</b> ± 0,80 (19)	+	NS
C <sub>12:0</sub>	<b>3,11</b> ± 0,76 (37)	<b>2,67</b> ± 0,43 (34)	<b>3,37</b> ± 0,90 (18)	<b>2,98</b> ± 1,53 (52)	<b>2,85</b> ± 0,20 (19)	NS	NS
C <sub>14:0</sub>	<b>10,35</b> ± 1,60 (37)	<b>10,07</b> ± 1,40 (36)	<b>10,19</b> ± 1,79 (24)	<b>9,62</b> ± 1,53 (51)	<b>9,63</b> ± 1,48 (19)	NS	NS
C <sub>14:1</sub>	<b>1,24</b> ± 0,47 (12)	<b>0,83</b> ± 0,27 (24)	<b>1,06</b> ± 0,34 (17)	<b>1,07</b> ± 0,34 (17)	<b>1,14</b> ± 0,35 (12)	NS	NS
C <sub>16:0</sub>	<b>23,94</b> ± 4,54 (37)	<b>29,28</b> ± 2,63 (36)	<b>24,23</b> ± 4,07 (24)	<b>23,52</b> ± 4,22 (54)	<b>24,01</b> ± 3,45 (19)	+	NS
Σ C <sub>16:1</sub>	<b>1,81</b> ± 1,00 (34)	<b>1,93</b> ± 1,00 (33)	<b>0,58</b> ± 0,51 (18)	<b>1,94</b> ± 0,11 (53)	<b>2,14</b> ± 1,02 (15)	NS	NS
<i>cis</i> -C <sub>16:1</sub>	-	<b>1,57</b> ± 0,60 (19)	<b>1,40</b> ± 0,51 (4)	<b>1,21</b> ± 0,11 (13)	<b>1,17</b> ± 0,28 (3)	NS	NS
<i>trans</i> -C <sub>16:1</sub>	-	<b>0,52</b> ± 0,43 (19)	<b>0,22</b> ± 0,17 (4)	<b>0,68</b> ± 0,15 (13)	<b>0,15</b> ± 0,07 (3)	NS	NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>Traitement technologique : NT - non traitées, MEC - mécanique, EX - extrusion, CH - chimique, CS - chaleur sèche.

<sup>3</sup>Effets : O - origine botanique ; T- traitement ; \*\*\* $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif

**Tableau B11:** Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG courts et moyens dans le lait des vaches laitières<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Colza			Soja		Colza	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>4</sup>	
	HL	SC	AM	HL	SC	<i>Total</i>	<i>Total</i> <sup>3</sup>	<i>Total</i>	<i>Total</i> <sup>3</sup>	O	T
C <sub>4:0</sub>	<b>2,79</b> ± 1,60 (10)	<b>4,39</b> ± 1,14 (9)	<b>4,06</b> ± 1,99 (5)	<b>4,79</b> ± 4,04 (8)	<b>5,13</b> ± 0,42 (8)	<b>3,11</b> ± 1,42(24)	<b>3,36</b> ± 0,69 (5)	<b>4,76</b> ± 3,22 (16)	<b>3,19</b> ± 1,39 (2)	NS	NS
C <sub>6:0</sub>	<b>1,95</b> ± 1,01 (10)	<b>2,64</b> ± 0,77(10)	<b>2,85</b> ± 0,63 (5)	<b>2,21</b> ± 1,01 (10)	<b>2,61</b> ± 0,25 (3)	<b>2,41</b> ± 0,85(25)	<b>1,94</b> ± 0,81 (5)	<b>2,22</b> ± 1,22 (13)	<b>1,54</b> ± 0,74 (3)	NS	NS
C <sub>8:0</sub>	<b>1,00</b> ± 0,48 (10)	<b>1,32</b> ± 0,43 (10)	<b>1,40</b> ± 0,10 (5)	<b>1,12</b> ± 0,31 (9)	<b>1,28</b> ± 0,17 (3)	<b>1,21</b> ± 0,43 (25)	<b>1,04</b> ± 0,42 (5)	<b>1,13</b> ± 0,37 (13)	<b>0,76</b> ± 0,30 (3)	NS	NS
C <sub>10:0</sub>	<b>2,33</b> ± 1,05 (10)	<b>2,86</b> ± 0,71 (10)	<b>3,17</b> ± 0,49 (5)	<b>2,78</b> ± 0,86 (10)	<b>2,42</b> ± 0,31 (3)	<b>2,71</b> ± 0,98 (25)	<b>1,79</b> ± 0,42 (5)	<b>2,31</b> ± 0,37 (13)	<b>1,62</b> ± 0,45 (3)	NS	NS
C <sub>12:0</sub>	<b>2,65</b> ± 0,93 (11)	<b>2,72</b> ± 0,43 (10)	<b>2,98</b> ± 0,16 (5)	<b>2,75</b> ± 0,83 (10)	<b>2,42</b> ± 0,36 (3)	<b>2,74</b> ± 1,00 (26)	<b>2,18</b> ± 0,37 (5)	<b>2,68</b> ± 0,80 (3)	<b>1,93</b> ± 0,19 (3)	NS	NS
C <sub>14:0</sub>	<b>10,27</b> ± 1,90 (11)	<b>9,70</b> ± 1,21 (10)	<b>10,32</b> ± 0,77 (10)	<b>9,97</b> ± 2,23 (12)	<b>8,23</b> ± 1,03 (3)	<b>10,06</b> ± 1,84 (26)	<b>8,44</b> ± 0,38 (5)	<b>9,62</b> ± 1,97 (15)	<b>8,91</b> ± 0,86 (5)	NS	NS
C <sub>14:1</sub>	<b>1,01</b> ± 0,43 (7)	<b>1,10</b> ± 0,22 (8)	<b>1,20</b> ± 0,20 (5)	<b>1,41</b> ± 0,67 (5)	<b>0,60</b> ± 0,15 (3)	<b>1,09</b> ± 0,33 (20)	<b>0,83</b> ± 0,26 (5)	<b>1,10</b> ± 0,49 (8)	<b>0,83</b> ± 0,20 (5)	NS	NS
C <sub>16:0</sub>	<b>24,79</b> ± 3,53 (11)	<b>24,54</b> ± 3,48 (10)	<b>24,43</b> ± 2,61 (10)	<b>25,32</b> ± 6,15 (12)	<b>23,80</b> ± 4,00 (3)	<b>24,62</b> ± 3,59 (26)	<b>21,99</b> ± 6,83 (5)	<b>25,02</b> ± 5,20 (15)	<b>24,14</b> ± 7,23 (5)	NS	NS
Σ C <sub>16:1</sub>	<b>1,71</b> ± 0,41 (11)	<b>1,63</b> ± 0,53 (9)	<b>1,48</b> ± 0,09 (5)	<b>1,79</b> ± 0,70 (9)	<b>1,45</b> ± 0,31 (3)	<b>1,63</b> ± 0,38 (25)	<b>1,47</b> ± 0,68 (4)	<b>1,70</b> ± 0,64 (12)	<b>1,75</b> ± 0,78 (4)	NS	NS
<i>cis</i> -C <sub>16:1</sub>	<b>1,39</b> ± 0,41 (3)	<b>1,06</b> ± 0,28 (7)	-	-	-	<b>1,16</b> ± 0,38 (13)	-	-	-	-	-
<i>trans</i> -C <sub>16:1</sub>	<b>0,40</b> ± 0,09 (4)	<b>0,72</b> ± 0,24 (7)	-	-	-	<b>0,57</b> ± 0,09 (13)	-	-	-	-	-

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>Traitement technologique : HL - huiles non traitées /AG libre ; SC - sels de calcium ; AM - amides <sup>3</sup> Huiles non traitées

<sup>4</sup> Effets : O - origine botanique ; T- traitement ; \*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

## 4.2.2. Acides gras à chaîne longue

**Tableau B12:** Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG longs dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou en huiles d'oléo-protéagineux<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Apport lipidique sous forme de graine	Apport lipidique sous forme d'huile
C <sub>18:0</sub>	+3,90 ± 1,91 (116) ***	+3,89 ± 2,03 (50) ***
Σ C <sub>18:1</sub>	+7,29 ± 4,05 (116) ***	+10,25 ± 4,59 (50) ***
Σ <i>cis</i> -C <sub>18:1</sub>	+6,00 ± 3,95 (42) ***	+6,37 ± 3,59 (39) ***
c6-C <sub>18:1</sub>	+0,65 ± 0,30 (4) *	-
c9-C <sub>18:1</sub>	+4,37 ± 2,18 (19) ***	+6,52 ± 2,97 (18) ***
c11-C <sub>18:1</sub>	+0,02 ± 0,08 (13) NS	+0,32 ± 0,28 (17) ***
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	+1,82 ± 1,75 (45) *	+3,17 ± 2,75 (26) ***
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	+0,18 ± 0,08 (6) **	+0,56 ± 0,40 (3) NS
t9-C <sub>18:1</sub>	+0,19 ± 0,07 (10) ***	+0,53 ± 0,43 (5) *
t10-C <sub>18:1</sub>	+0,32 ± 0,11 (3) *	+2,67 ± 4,23 (4) NS
t11-C <sub>18:1</sub>	+0,67 ± 0,93 (13) *	+3,11 ± 2,66 (21) ***
t12-C <sub>18:1</sub>	+0,27 ± 0,12 (5) **	+0,39 ± 0,09 (3) *
t13,t14-C <sub>18:1</sub>	-	+1,85 ± 0,30 (3) **
t15-C <sub>18:1</sub>	-	+0,37 ± 0,25 (3) NS
t16-C <sub>18:1</sub>	-	+0,29 ± 0,22 (3) NS
Σ C <sub>18:2</sub>	+0,81 ± 1,15 (111) ***	+0,34 ± 0,95 (43) *
Σ C <sub>18:2</sub> non conjugué	-	-
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	+0,62 ± 0,89 (21) **	+0,23 ± 1,07 (10) NS
t9,c12-C <sub>18:2</sub>	-	+0,01 ± 0,1 (5) NS
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	+0,16 ± 0,11 (4) +	-
Σ C <sub>18:2</sub> conjugué (CLA)	+0,36 ± 0,35 (30) ***	+0,50 ± 0,47 (18) ***
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	+0,30 ± 0,38 (27) ***	+0,37 ± 0,42 (19) **
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	+0,012 ± 0,006 (4) *	+0,018 ± 0,036 (6) NS
t9,t11-C <sub>18:2</sub>	+0,015 ± 0,014 (8) *	-
t11,t13-C <sub>18:2</sub>	+0,015 ± 0,017 (5) NS	+0,038 ± 0,034 (3) NS
c11,t13-C <sub>18:2</sub>	+0,001 ± 0,001 (5) NS	-
t11,c15-C <sub>18:2</sub>	-	+0,29 ± 0,349 (3) NS
Σ C <sub>18:3</sub>	+0,26 ± 0,75 (84) **	+0,02 ± 0,31 (36) NS
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	+0,31 ± 0,40 (20) **	-
c6,c9,c12-C <sub>18:3</sub>	-0,05 ± 0,09 (5) NS	-
C <sub>20:0</sub>	+0,14 ± 0,15 (28) ***	+0,03 ± 0,09 (9) NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés. <sup>2</sup>\*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

- *Acides stéarique, oléique, linoléique et linoléinique*

La supplémentation lipidique accroît principalement le C18:0, en raison de sa production dans le rumen par biohydrogénation des AGPI, mais aussi les C18:1 totaux, et le c9-C18:1. L'augmentation des C18:1 totaux (Tableau B12) a été plus importante avec les huiles qu'avec les graines, en raison de la forte augmentation des isomères *trans* (voir plus loin). Les teneurs en C18:2 totaux (Tableau B12) ont aussi été augmentées par l'apport lipidique, surtout avec des graines qui induisent un accroissement plus important des teneurs en c9,c12-C18:2 dans le lait. Il est possible que cette différence entre graines et huiles soit en partie liée au fait que les différents OP ne sont pas également représentés dans les groupes recevant des huiles ou des graines: dans la base de données presque 60% des groupes ont reçu des graines riches en acide linoléique (soja, coton et tournesol - Tableau B1). La proportion de C18:3 totaux et du c9,c12,c15-C18:3 (Tableau B12) a été significativement augmentée par l'apport des graines mais pas par les huiles, possiblement parce que le lin, principale source de cet AG, est surtout utilisé sous forme de graines (Tableau B1).

Les teneurs en AG à 20 ou 22 C sont peu ou pas modifiées par l'apport d'OP par rapport au lait des vaches témoins (Tableau B12 - effet des graines sur le C20:0, mais très peu de données pour des AG plus longs); ces teneurs ne sont généralement accrues qu'avec les huiles de poisson ou l'apport d'algues dans la ration (Chilliard et al., 2001).

Parmi les OP étudiés, les teneurs les plus élevées en C18:2 totaux du lait ont été observées avec l'apport de graines de soja (Tableau B13) par rapport aux graines de coton (Schingoethe et al. 1996) ou de tournesol (Dhiman et al., 1999). Il est possible que les différences entre ces graines soient liées à des différences de disponibilité ou de biohydrogénation des AG (Dhiman et al., 1999). Par ailleurs, le tournesol classique ou le coton peuvent aussi augmenter les teneurs en C18:2 du lait par rapport à des rations non supplémentées en lipides (McGuffey et Schingoethe, 1982, Dhiman et al., 1999, Markus et al., 1996, Zheng et al., 2005). Toutefois, lorsque le soja et le coton ont été utilisés sous forme d'huile, des différences sur les teneurs en C18:2 n'ont pas été détectées (Zheng et al., 2005). Nous n'avons pas observé de différences des teneurs en C18:2 totaux dans le lait quand des huiles de soja, lin ou tournesol ont été ajoutées à la ration, mais les effectifs des trois groupes sont très différents (Tableau B14).

Les teneurs en C18:3 totaux du lait sont très faibles (Tableau B5) et, chez les vaches laitières non supplémentées, ces teneurs dépendent de la quantité et du type de fourrage de la ration du fait des teneurs élevées de l'herbe verte pour cet AG (Harfoot et Hazlewood, 1988,

Chilliard et al., 2001). Par rapport à des groupes témoins, l'utilisation de soja (Madison-Anderson et al., 1997, Abel-Caines, 1998) ou de colza (Ashes et al., 1992, Jahreis et Richter, 1994) peuvent accroître les teneurs en C18:3 du lait. Cependant, le lin est la seule OP ayant des teneurs élevées en C18:3 (Tableau B2) et donc capable d'augmenter de façon importante les C18:3 totaux dans le lait, apporté sous forme de graines (Tableau B13) ou d'huile (Tableau B14).

Le traitement technologique des graines induit moins d'effet que la nature botanique de l'OP sur le profil en AG longs du lait (Tice et al., 1994, Aldrich et al., 1997); il peut cependant influencer l'amplitude de la réponse. Parmi les traitements appliqués aux graines de colza (MEC, EX ou CH), l'extrusion induit les valeurs les plus faibles de C18:1 totaux et de C18:2 totaux dans le lait (Tableau B13). Par ailleurs, les graines de colza broyées produisent plus de variations dans la composition en AG du lait que les graines intactes par rapport aux rations non supplémentées, tandis que le profil en AG du lait est similaire entre animaux alimentés avec de l'huile ou des graines de colza broyées (Kennely, 1996b). En comparaison aux rations témoins, des augmentations de la somme de C18:1 à C18:3 très variables ont également été observées selon les traitements de la graine de colza (Bayourthe et al., 2000).

Dans l'étude de Chouinard et al. (1997a), la comparaison entre soja extrudé ou cru a montré que l'augmentation des teneurs en C18:2 a été plus importante avec le soja cru, peut-être parce que une partie de l'huile est libérée lors de processus d'extrusion et devient plus susceptible à la biohydrogénation. Le Tableau B13 montre que les teneurs en C18:2 totaux les plus fortes ont été obtenues avec des graines de soja ayant subi des traitements mécaniques et les plus faibles avec des graines non traitées.

*Comme chez la vache, les teneurs en C18:0, C18:1, C18:2 et C18:3 du lait de chèvre varient selon la nature et les caractéristiques des lipides ajoutés à la ration. En général, lors de la supplémentation lipidique, les pourcentages de C18:0 et de C18:1 augmentent tandis que ceux des AG moyens diminuent, et les AG courts varient moins (Schmidely et Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003).*

*L'utilisation d'huile de colza n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en C18:2 et C18:3 du lait (Mir et al., 1999), mais le C18:2 est augmenté par la supplémentation avec des sources riches en acide linoléique, comme le soja ou le coton, surtout quand celles-ci sont protégées (Schmidely et Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003). Avec des rations supplémentées en graines de soja, les teneurs en C18:2 ont été significativement*

*augmentées par l'addition de 20% des graines (témoin : 2,61% vs. supplémentés : 4,46% des AGT, Schmidely et al., 2005). En outre, des comparaisons directes entre des graines montrent que le tournesol favorise les teneurs en C18:2 par rapport au colza (Schmidely et al., 2004). L'augmentation des proportions en C18:2 dépendent aussi de la quantité de graines ajoutée à la ration (Gulati et al., 1997).*

*L'addition des graines de lin à la ration des chèvre laitières, accroît fortement (jusqu'à 320% - Chilliard et al., 2003) les teneurs en C18:3 dans le lait, surtout quand des graines traitées au formaldéhyde ont été utilisées (Chilliard et al., 2003, Bernard et al. 2005b).*



**Tableau B13:** Effet de l'origine botanique de la graine d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG longs dans le lait des vaches laitières<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Colza				Coton		Lin			Soja				Tournesol	
	NT <sup>2</sup>	MEC	EX	CH	NT	EX	NT	MEC	CH	NT	MEC	EX	CS	NT	MEC
C <sub>18:0</sub>	<b>14,53</b> ± 5,38 (15)	<b>13,97</b> ± 2,49 (14)	<b>12,68</b> ± ± 0,76 (4)	<b>13,40</b> ± ± 4,92 (7)	<b>16,39</b> ± 3,65 (35)	<b>14,95</b> ± 1,38 (4)	<b>14,49</b> ± ± 4,65 (8)	<b>13,37</b> ± 4,32 (4)	<b>13,60</b> ± 3,37 (6)	<b>13,23</b> ± 3,30 (12)	<b>11,72</b> ± 3,00 (7)	<b>11,93</b> ± 2,47 (25)	<b>13,69</b> ± 2,06 (7)	<b>14,94</b> ± 2,98 (16)	<b>11,66</b> ± 4,12 (3)
Σ C <sub>18:1</sub>	<b>27,22</b> ± 3,84 (15)	<b>30,01</b> ± 5,67 (14)	<b>26,82</b> ± ± 2,38 (4)	<b>29,10</b> ± ± 4,33 (7)	<b>24,81</b> ± 3,41 (35)	<b>22,07</b> ± 1,38 (4)	<b>28,08</b> ± ± 5,04 (8)	<b>23,88</b> ± 3,99 (10)	<b>27,16</b> ± 1,26 (6)	<b>26,75</b> ± 2,75 (12)	<b>30,16</b> ± 5,07 (7)	<b>27,68</b> ± 3,77 (25)	<b>25,35</b> ± 2,36 (7)	<b>34,44</b> ± 4,14 (16)	<b>25,40</b> ± 4,15 (3)
Σ <i>cis</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>22,21</b> ± 3,57 (3)	<b>28,33</b> ± 10,37 (4)	<b>23,45</b> ± ± 1,68 (4)	<b>24,63</b> ± ± 4,16 (4)	<b>21,94</b> ± 1,80 (11)	-	<b>26,19</b> ± ± 4,87 (8)	<b>19,71</b> ± 2,82 (8)	-	-	<b>25,41</b> ± 4,52 (4)	<b>22,64</b> ± 1,93 (13)	<b>21,01</b> ± 1,55 (6)	<b>29,56</b> ± 3,55 (5)	-
<i>c9</i> -C <sub>18:1</sub>	-	-	<b>23,15</b> ± ± 1,92 (3)	-	-	-	<b>24,55</b> ± ± 6,00 (5)	<b>19,55</b> ± 3,05 (5)	-	-	-	<b>21,59</b> ± 2,42 (13)	-	<b>29,50</b> ± 5,36 (3)	-
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>1,72</b> ± 0,08 (3)	<b>2,21</b> ± 0,42 (4)	-	-	<b>2,27</b> ± 1,31 (15)	-	<b>3,21</b> ± 0,90 (4)	<b>2,23</b> ± 0,63 (8)	<b>2,40</b> ± 0,63 (4)	-	-	<b>4,15</b> ± 1,99 (8)	<b>3,87</b> ± 1,17 (4)	-	-
t11-C <sub>18:1</sub>	-	-	<b>3,45</b> ± 1,18 (3)	-	<b>1,27</b> ± 0,07 (8)	-	<b>1,03</b> ± 0,33 (3)	-	-	-	-	<b>5,10</b> ± 4,27 (11)	-	-	-
Σ C <sub>18:2</sub>	<b>3,02</b> ± 1,64 (14)	<b>2,28</b> ± 0,39 (13)	<b>1,97</b> ± 0,37 (4)	<b>3,84</b> ± 0,71 (7)	<b>2,96</b> ± 0,83 (35)	<b>4,22</b> ± 0,78 (4)	<b>2,52</b> ± 0,58 (6)	<b>2,07</b> ± 0,67 (10)	<b>5,33</b> ± 3,67 (5)	<b>3,97</b> ± 1,80 (12)	<b>6,52</b> ± 2,60 (7)	<b>5,15</b> ± 1,20 (25)	<b>5,53</b> ± 0,75 (7)	<b>3,09</b> ± 0,87 (16)	<b>3,00</b> ± 0,54 (3)
<i>c9,c12</i> -C <sub>18:2</sub>	-	-	-	-	-	-	<b>2,19</b> ± 1,55 (4)	-	-	-	-	<b>3,91</b> ± 0,57 (8)	-	<b>3,35</b> ± 0,40 (3)	-
Σ CLA	-	<b>0,80</b> ± 0,36 (6)	-	-	<b>0,48</b> ± 0,04 (12)	<b>0,46</b> ± 0,09 (4)	<b>0,88</b> ± 0,32 (5)	-	-	-	-	<b>0,95</b> ± 0,24 (6)	<b>1,02</b> ± 0,31 (4)	<b>0,90</b> ± 0,17 (3)	-
<i>c9,t11</i> -C <sub>18:2</sub>	-	<b>0,75</b> ± 0,45 (4)	-	-	<b>0,45</b> ± 0,06 (20)	-	<b>0,84</b> ± 0,61 (6)	<b>1,00</b> ± 0,41 (4)	<b>0,82</b> ± 0,12 (4)	-	-	<b>0,85</b> ± 0,24 (7)	<b>1,02</b> ± 0,31 (4)	<b>0,73</b> ± 0,13 (3)	-
Σ C <sub>18:3</sub>	<b>0,63</b> ± 0,12 (14)	<b>1,34</b> ± 1,92 (12)	<b>0,77</b> ± 0,10 (4)	<b>1,30</b> ± 0,68 (6)	<b>0,69</b> ± 0,55 (34)	<b>0,27</b> ± 0,16 (4)	<b>0,90</b> ± 0,34 (7)	-	<b>2,41</b> ± 2,21 (6)	<b>0,69</b> ± 0,64 (9)	<b>1,00</b> ± 0,97 (7)	<b>0,78</b> ± 0,32 (20)	<b>0,90</b> ± 0,41 (7)	<b>0,33</b> ± 0,27 (6)	-
C <sub>20:0</sub>	-	<b>0,34</b> ± 0,16 (7)	-	<b>0,70</b> ± 0,17 (3)	<b>0,41</b> ± 0,21 (8)	-	-	-	<b>0,68</b> ± 0,35 (4)	<b>0,64</b> ± 0,46 (4)	<b>0,61</b> ± 0,43 (5)	<b>0,31</b> ± 0,15 (9)	<b>0,64</b> ± 0,33 (3)	<b>0,43</b> ± 0,46 (3)	-

Tableau B13 (continuation)

	Colza	Coton	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>3</sup>	
	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>O</i>	<i>T</i>
<b>C<sub>18:0</sub></b>	<b>13,96 ± 3,36 (39)</b>	<b>16,24 ± 4,48 (39)</b>	<b>13,95 ± 3,65 (18)</b>	<b>12,69 ± 3,23 (54)</b>	<b>14,42 ± 3,46 (19)</b>	***	***
Σ C <sub>18:1</sub>	<b>28,49 ± 5,06 (40)</b>	<b>24,53 ± 3,67 (39)</b>	<b>26,10 ± 5,93 (24)</b>	<b>27,50 ± 4,87 (54)</b>	<b>33,01 ± 6,03 (19)</b>	+	*
Σ <i>cis</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>24,85 ± 6,19 (13)</b>	<b>21,94 ± 1,80 (11)</b>	<b>23,11 ± 5,05 (17)</b>	<b>23,01 ± 2,60 (28)</b>	<b>27,21 ± 6,20 (7)</b>	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	<b>22,53 ± 3,40 (8)</b>	-	<b>22,00 ± 4,77 (15)</b>	<b>21,98 ± 2,10 (22)</b>	<b>24,46 ± 8,05 (5)</b>	*	NS
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>2,00 ± 0,53 (10)</b>	<b>2,27 ± 1,41 (13)</b>	<b>2,52 ± 1,10 (16)</b>	<b>4,40 ± 1,80 (14)</b>	<b>4,31 ± 1,12 (4)</b>	+	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	<b>2,81 ± 1,31 (5)</b>	<b>1,27 ± 0,08 (8)</b>	<b>1,35 ± 0,93 (6)</b>	<b>4,33 ± 3,45 (18)</b>	-	**	***
Σ C <sub>18:2</sub>	<b>2,81 ± 1,04 (38)</b>	<b>3,09 ± 0,88 (39)</b>	<b>2,98 ± 1,07 (21)</b>	<b>5,16 ± 1,94 (54)</b>	<b>3,07 ± 0,87 (19)</b>	***	***
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	<b>1,85 ± 1,35 (4)</b>	-	<b>2,13 ± 0,60 (7)</b>	<b>3,95 ± 0,55 (9)</b>	<b>2,97 ± 0,61 (5)</b>	*	NS
Σ CLA	<b>0,73 ± 0,37 (7)</b>	<b>0,47 ± 0,05 (16)</b>	<b>1,02 ± 0,39 (16)</b>	<b>0,86 ± 0,35 (12)</b>	<b>1,07 ± 0,38 (5)</b>	NS	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	<b>0,66 ± 0,44 (5)</b>	<b>0,45 ± 0,18 (24)</b>	<b>0,88 ± 0,44 (14)</b>	<b>0,87 ± 0,29 (5)</b>	<b>0,94 ± 0,44 (5)</b>	+	NS
Σ C <sub>18:3</sub>	<b>0,99 ± 0,79 (36)</b>	<b>0,64 ± 0,56 (38)</b>	<b>1,50 ± 1,06 (15)</b>	<b>0,83 ± 0,53 (45)</b>	<b>0,32 ± 0,29 (6)</b>	NS	NS
<b>C<sub>20:0</sub></b>	<b>0,43 ± 0,21 (12)</b>	<b>0,41 ± 0,21 (8)</b>	<b>0,53 ± 0,35 (6)</b>	<b>0,49 ± 0,39 (23)</b>	<b>0,43 ± 0,39 (3)</b>	NS	*

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>Traitement technologique : NT - non traitées, MEC - mécanique, EX - extrusion, CH - chimique, CS - chaleur sèche.

<sup>3</sup> Effets : O - origine botanique ; T- traitement ; \*\*\* $P < 0,001$  ; \*\* $P < 0,01$  ; \* $P < 0,05$  ; + $P < 0,10$  ; NS non significatif.

**Tableau B14 :** Effet de l'origine botanique de l'huile d'oléo-protéagineux et de son traitement technologique sur le profil en AG longs dans le lait des vaches laitières.

	Colza			Soja		Colza	Lin	Soja	Tournesol	<i>Effets</i> <sup>3</sup>	
	HL	SC	AM	HL	SC	Total	HL	Total	HL	O	T
C <sub>18:0</sub>	<b>14,22</b> ± 2,91 (11)	<b>13,94</b> ± 1,30 (10)	<b>14,81</b> ± 1,32 (5)	<b>13,50</b> ± 4,62 (12)	<b>14,74</b> ± 0,67 (3)	<b>14,22</b> ± 2,61 (26)	<b>12,01</b> ± 3,18 (5)	<b>13,75</b> ± 4,09 (15)	<b>13,06</b> ± 1,24 (5)	NS	NS
Σ C <sub>18:1</sub>	<b>32,36</b> ± 6,76 (11)	<b>31,35</b> ± 4,73 (10)	<b>29,49</b> ± 1,57 (5)	<b>30,77</b> ± 6,94 (12)	<b>31,61</b> ± 7,31 (11)	<b>31,41</b> ± 5,60 (26)	<b>29,44</b> ± 10,6 (5)	<b>30,34</b> ± 6,91 (15)	<b>34,13</b> ± 10,75 (5)	NS	NS
Σ <i>cis</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>26,04</b> ± 4,35 (7)	<b>26,15</b> ± 4,28 (9)	<b>26,15</b> ± 1,82 (5)	<b>23,71</b> ± 4,64 (9)	<b>25,32</b> ± 2,63 (3)	<b>26,25</b> ± 3,84 (21)	<b>18,45</b> ± 11,90 (4)	<b>24,12</b> ± 4,59 (12)	<b>22,19</b> ± 22,19 (5)	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	<b>27,76</b> ± 2,35 (4)	<b>23,79</b> ± 2,40 (7)	-	-	<b>24,52</b> ± 2,37 (3)	<b>25,31</b> ± 2,95 (13)	<b>18,63</b> ± 4,78 (3)	<b>22,39</b> ± 5,58 (5)	- 11,21	NS	NS
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	<b>3,61</b> ± 1,55 (5)	-	<b>3,55</b> ± 0,64 (3)	<b>7,55</b> ± 3,47 (9)	-	<b>3,30</b> ± 1,49 (10)	<b>11,51</b> ± 2,25 (3)	<b>6,74</b> ± 3,66 (11)	<b>10,56</b> ± 4,58 (4)	*	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	<b>3,19</b> ± 2,01 (5)	<b>5,39</b> ± 1,81 (7)	-	<b>2,03</b> ± 0,35 (3)	-	<b>4,27</b> ± 2,27 (14)	<b>3,69</b> ± 3,25 (4)	<b>4,67</b> ± 5,29 (4)	-	NS	NS
Σ C <sub>18:2</sub>	<b>2,34</b> ± 0,67 (10)	<b>2,15</b> ± 0,56 (10)	<b>2,20</b> ± 0,05 (3)	<b>4,14</b> ± 2,02 (10)	<b>2,90</b> ± 0,44 (3)	<b>2,39</b> ± 1,53 (23)	<b>4,54</b> ± 2,36 (5)	<b>3,85</b> ± 1,94 (13)	<b>4,37</b> ± 1,07 (5)	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	<b>1,96</b> ± 0,46 (4)	-	-	-	-	<b>2,16</b> ± 0,52 (6)	<b>1,93</b> ± 0,48 (3)	<b>3,95</b> ± 2,19 (9)	<b>3,68</b> ± 0,78 (4)	+	NS
Σ CLA	<b>0,86</b> ± 0,43 (5)	-	<b>0,56</b> ± 0,29 (5)	<b>0,93</b> ± 0,33 (6)	-	<b>0,71</b> ± 0,39 (10)	<b>1,92</b> ± 1,09 (5)	<b>0,87</b> ± 0,30 (8)	<b>1,91</b> ± 0,88 (3)	NS	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	<b>0,76</b> ± 0,45 (6)	-	<b>0,56</b> ± 0,29 (5)	<b>0,75</b> ± 0,24 (3)	-	<b>0,67</b> ± 0,39 (11)	<b>1,63</b> ± 1,04 (4)	<b>0,75</b> ± 0,24 (3)	<b>1,91</b> ± 0,66 (3)	+	NS
Σ C <sub>18:3</sub>	<b>0,51</b> ± 0,43 (8)	<b>0,45</b> ± 0,20 (10)	<b>0,50</b> ± 0,18 (5)	<b>0,63</b> ± 0,69 (6)	<b>0,52</b> ± 0,29 (3)	<b>0,48</b> ± 0,73 (23)	<b>1,18</b> ± 0,55 (5)	<b>0,59</b> ± 0,52 (9)	<b>0,50</b> ± 0,27 (5)	***	NS
C <sub>20:0</sub>	-	-	-	-	-	<b>0,27</b> ± 0,04 (3)	<b>0,09</b> ± 0,05 (4)	-	-	-	-

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>Traitement technologique : HL - huiles non traitées /AG libre ; SC - sels de calcium ; AM - amides

<sup>3</sup>Effets : O - origine botanique ; T- traitement ; \*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

- *Isomères des acides oléique et linoléique*

Plusieurs isomères *cis* du C18:1 sont présents dans le lait, mais les proportions des isomères autres que le c9-C18:1 sont très faibles (Tableau B5). L'apport de graines ou d'huiles a augmenté de façon similaire la teneur en *cis*-C18:1 totaux dans le lait. L'effet sur le c9-C18:1 a été plus marqué avec les huiles, mais le nombre des données pour cet AG est plus faible que pour les *cis*-C18:1 totaux (Tableau B12). Les teneurs les plus élevées des *cis*-C18:1 totaux dans le lait ont été obtenues avec les graines de tournesol (Tableau B13). En raison d'un faible nombre de résultats, nous n'avons pas pu tester l'effet de l'origine botanique sur les isomères mineurs des *cis*-C18:1. Loor et al. (2005b) ont observé une plus forte augmentation des isomères c9- et c15- du C18:1 avec l'ajout dans la ration de vaches laitières d'huile de lin qu'avec l'huile de soja. Par contre, Secchiari et al (2003) ont obtenu des teneurs plus élevées des isomères c7-, c9- et c12-C18:1 avec du lin qu'avec du soja.

L'apport de lipides a augmenté les teneurs en *trans*-C18:1 totaux et en CLA totaux dans le lait (Tableau B12). L'accroissement des *trans*-C18:1 totaux est encore plus marqué avec les huiles qu'avec les graines, du fait de la libération plus lente des AGPI des graines permettant une biohydrogénation plus efficace et limitant l'accumulation d'intermédiaires du métabolisme des AGPI. L'augmentation des *trans*-C18:1 est surtout due à celle du t11- (et dans une moindre mesure du t10-), mais, à l'exception du t15- et t16-, tous les autres isomères ont été augmentés par les graines et/ou les huiles (Tableau B12). Par ailleurs, le t10-C18:1 a été augmenté significativement par l'apport de graines, et numériquement par l'apport d'huiles, malgré une valeur moyenne élevée dans ce traitement. Cela s'explique par les teneurs élevées de cet AG obtenues par Piperova et al. (2000) qui ont fortement contribué à l'accroissement de la moyenne puisque il y a très peu de résultats pour cet AG dans notre base de données.

Si l'apport d'OP a accru la proportion de c9,t11-C18:2 du lait, son effet sur le t10,c12-C18:2 et les autres isomères CLA (t9,t11, t11,t13 et c11,t13) a été beaucoup plus faible, et sans différence apparente entre les huiles et les graines (Tableau B12). Le t11,c15-C18:2 a été fortement augmenté par les huiles car les données proviennent d'études avec de l'huile de lin qui favorise la production ruminale de cet AG (Akraim, 2005, Loor et al. 2005a/b). Par ailleurs, les isomères c8,t10, c12,t14 ou t7,c9 considéré comme le 2<sup>nd</sup> isomère quantitatif des CLA du lait (Yurawecz et al., 1998) sont très peu représentés dans la base de données.

Le Tableau B15 montre l'effet de l'apport lipidique sur les rapports entre les différents produits de la  $\Delta^9$ -désaturase et leurs substrats respectifs. Tous les index ont été réduits par

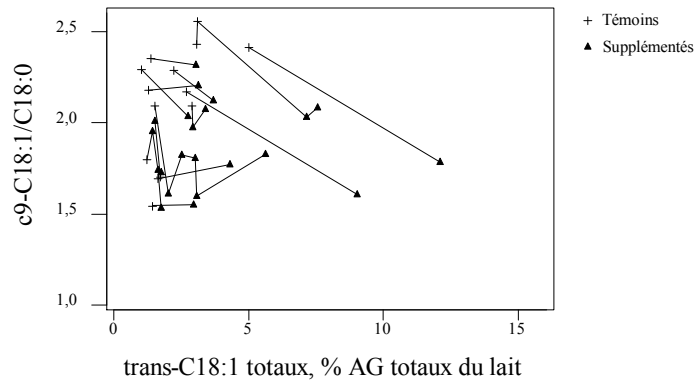
l'apport lipidique sous forme de graines. Même si les effets des huiles ne sont pas significatifs, l'apport lipidique sous forme d'huile provoque une réduction numérique des rapports c9-C18:1/C18:0, CLA total/t11-C18:1 et c9,t11-C18:2/t11-C18:1; la diminution des rapports CLA total/t11-C18:1 et c9,t11-C18:2/t11-C18:1 étant même numériquement supérieure lors de l'apport d'huiles qu'avec des graines. La réduction de ces rapports montre que l'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase est diminuée avec la supplémentation lipidique (Barber et al., 1997, Chilliard et al., 2001, Chilliard et Ferlay, 2004).

**Tableau B15:** Effet de l'apport de lipides sur la modification de l'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux<sup>1</sup>.

	Apport lipidique sous forme de graine	Apport lipidique sous forme d'huile
C <sub>14:1</sub> total/C <sub>14:0</sub>	<b>-0,011</b> ± 0,026 (83) ***	<b>0,001</b> ± 0,018 (34) NS
C <sub>16:1</sub> total/C <sub>16:0</sub>	<b>0,004</b> ± 0,021 (104) +	<b>0,008</b> ± 0,014 (45) ***
C <sub>18:1</sub> total/C <sub>18:0</sub>	<b>-0,12</b> ± 0,36 (116) ***	<b>0,15</b> ± 0,54 (50) +
c9-C <sub>18:1</sub> /C <sub>18:0</sub>	<b>-0,21</b> ± 0,19 (19) ***	<b>-0,07</b> ± 0,22 (18) NS
CLA total/t11-C <sub>18:1</sub>	<b>-0,04</b> ± 0,04 (9) **	<b>-0,13</b> ± 0,23 (5) NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub> /t11-C <sub>18:1</sub>	<b>-0,05</b> ± 0,05 (9) **	<b>-0,08</b> ± 0,16 (11) NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés. <sup>2</sup>\*\*\*  $P < 0,001$  ; \*\*  $P < 0,01$  ; \*  $P < 0,05$  ; +  $P < 0,10$  ; NS non significatif.

Des infusions de CLA dans l'abomasum des vaches laitières ont montré que le t10,c12-C18:2 inhibait la  $\Delta^9$ -désaturase mammaire (Baumgard et al., 2000, Looor et Herbein, 2003b). Dans la base de données, l'activité de cette enzyme estimée par le rapport c9-C18:1/C18:0 est inversement reliée à la teneur en *trans*-C18:1 du lait (Figure B7). Le nombre de données des différents isomères *trans* est trop faible pour leur attribuer individuellement cette réduction de l'activité de l'enzyme ; toutefois des infusions post-ruminales de CLA indiquent que le t10-C18:1 pourrait inhiber directement la  $\Delta^9$ -désaturase (voir 2<sup>ème</sup> partie - aspects métaboliques).



**Figure B7** : Relation entre le rapport c9-C18:1/C18:0 et les teneurs en *trans*-C18:1 totaux dans lait (Données issues des articles ‘témoins vs. supplémentés’).

Puisque le t11-C18:1 ruminal provient essentiellement de la biohydrogénation du c9,c12-C18:2, il est donc logique que les teneurs les plus élevées de cet AG et du c9,t11-C18:2 (via la  $\Delta^9$  desaturase mammaire) dans le lait soient obtenues avec des sources lipidiques riches en acide linoléique. Ainsi, les teneurs les plus élevées de *trans*-C18:1 totaux et t11-C18:1 ont été obtenues dans le lait des vaches supplémentées en graines de soja ou en tournesol (Tableau B13) sans différence entre ces 2 graines. En revanche, l'utilisation de coton a eu un effet moins marqué sur ces AG, ce qui concorde avec l'hypothèse d'une biohydrogénation ruminale importante des ces graines (pas d'accumulation d'intermédiaires). Toutefois, des différences du métabolisme ruminal des graines ne sont pas la seule explication pour l'effet plus faible du coton. Même quand le coton et le soja ont été utilisés sous forme d'huile, Zheng et al. (2005) ont observé des effets sur le t11-C18:1 et le c9,t11-C18:2 plus marqués avec du soja, ce qui peut indiquer que d'autres AG, comme l'acide linoléique dont le soja est plus riche que les autres graines sources d'acide linoléique (Tableau B2), contribuent aussi à la production de t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 (Zheng et al., 2005).

Par rapport aux graines de soja ou de tournesol, les graines de colza ont plus faiblement accru les teneurs en *trans*-C18:1 totaux, t11-C18:1, en CLA totaux, et en c9,t11-C18:2 (Tableau B13) dans la base de données. Ces différences ont été cependant moins marquées lors de l'apport sous forme d'huile, du fait de teneurs en t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 équivalentes dans les lots supplémentés en huile de soja ou de colza. Des comparaisons directes entre huiles de colza ou de soja ont montré que, par rapport au lait des vaches non supplémentées, les proportions de t11-C18:1 et de c9,t11-C18:2 du lait sont plus fortement augmentées par l'apport de colza que par le soja, tandis que le colza favorise la production de

c9-C18:1 (Chouinard et al. 1998, Loor et Herbein, 2003a). Par ailleurs, aucune différence entre graines de coton et de soja n'a été obtenue pour les teneurs en *trans*-C18:1 et en CLA totaux dans le lait.

La comparaison des OP riches en acide linoléique ou en linoléinique sur les teneurs en t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 du lait montre des résultats variables : la teneur en c9,t11-C18:2 était 1,5 et 2 fois supérieure avec la graine de tournesol qu'avec la graine de lin (Collomb et al., 2004a), tandis que peu de différences ont été obtenues pour les teneurs en t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 lors de la comparaison d'huiles de lin ou de tournesol (Loor et al., 2005b). Dans ce cas, la production de t11-C18:1 via le C18:3 du lin, peut-être associée à une plus forte inhibition de l'activité microbienne par le C18:3 de l'huile de lin, peut mener à une accumulation des AG *trans*, expliquant, en partie, l'absence de différence entre la supplémentation en lin et tournesol.

*Chez la chèvre, Chilliard et al. (2003) ont rapporté des accroissements des teneurs en t11-C18:1 et en c9,t11-C18:2 de +290% et +283% avec de l'huile de colza, de +130% et +33% avec des graines de tournesol, et de +190% et +133% avec de l'huile de lin, tandis que l'ajout des graines de soja ou de lin n'a pas eu d'effet significatif. Ainsi, comme chez la vache laitière, la biohydrogénation des AGPI des graines de soja et de lin apparaît plus lente qu'avec l'huile, ce qui a possiblement empêché l'accumulation des intermédiaires de biohydrogénation (Chilliard et al., 2003). Des comparaisons directes entre graines de colza et de tournesol ont montré des teneurs en t11-C18:1 et en c9,t11-C18:2 du lait un peu plus élevées avec du tournesol (Schmidely et al., 2004).*

En raison d'un nombre de données trop faible, l'effet de l'origine botanique sur le profil dans le lait des isomères des *trans*-C18:1 (autre que le t11-) et des CLA (autre que le c9,t11-C18:2) n'a pas pu être étudié. Des études récentes ont montré que, selon le type de supplément lipidique, d'autres voies d'hydrogénation ruminale des AG (Schéma 2) que celles du Schéma 1 peuvent être favorisées, modifiant ainsi le profil des AG *trans* et des CLA (Loor et al., 2002a): ainsi, la proportion du t10-C18:1 est plus élevée dans le lait de vaches recevant de l'huile de soja que dans celui de vaches alimentées avec du colza, cependant sans différence pour le t10,c12-C18:2 (Loor et Herbein, 2003a). Par ailleurs, des teneurs plus importantes de t10-C18:1 et de t10,c12-C18:2 dans le lait ont été obtenues avec de l'huile de tournesol par rapport à de l'huile de lin (Loor et al., 2005b). De la même façon, l'utilisation

des graines de soja ou de tournesol augmente les teneurs en t10-C18:1 et en t10,c12-C18:2 par rapport aux graines de lin (Secchiari et al., 2003, Collomb et al., 2004a).

Loor et Herbein (2003a) ont observé que l'huile de colza augmentait les proportions du t6+7+8- et du t9- dans le lait de vaches, alors que l'huile de soja accroissait celles du t12-, t13+14- et t16-C18:1. De façon similaire, Collomb et al. (2004a) ont aussi obtenu des teneurs en t6+7+8- plus élevées et en t12- plus faibles avec des graines de colza par rapport à des graines de tournesol. Par rapport aux graines de lin, les graines de soja ou de tournesol accroissent les proportions de t6+7+8-, t9 et t12 (Secchiari et al., 2003, Collomb et al., 2004a) du lait, tandis que l'huile de lin accroît les teneurs en t13+14-, t15- et t16-C18:1 par rapport à l'huile de tournesol (Loor et Herbein, 2003a).

Les teneurs de ces AG sont très faibles (Tableau B5) et, en fonction des conditions d'analyse chromatographique, la séparation précise de certains isomères *trans* et *cis* n'est pas possible. Par ailleurs, peu d'études ont fait des comparaisons directes entre les différentes sources de lipides pour qu'on puisse prévoir le profil en AG *trans* selon la nature de l'OP. Toutefois, on doit retenir que, de façon générale, la supplémentation lipidique augmente de façon plus ou moins marquée les teneurs de tous les AG *trans* identifiés. Ces considérations sont aussi valables pour les différents isomères des CLA dont les teneurs sont faibles et les données peu nombreuses.

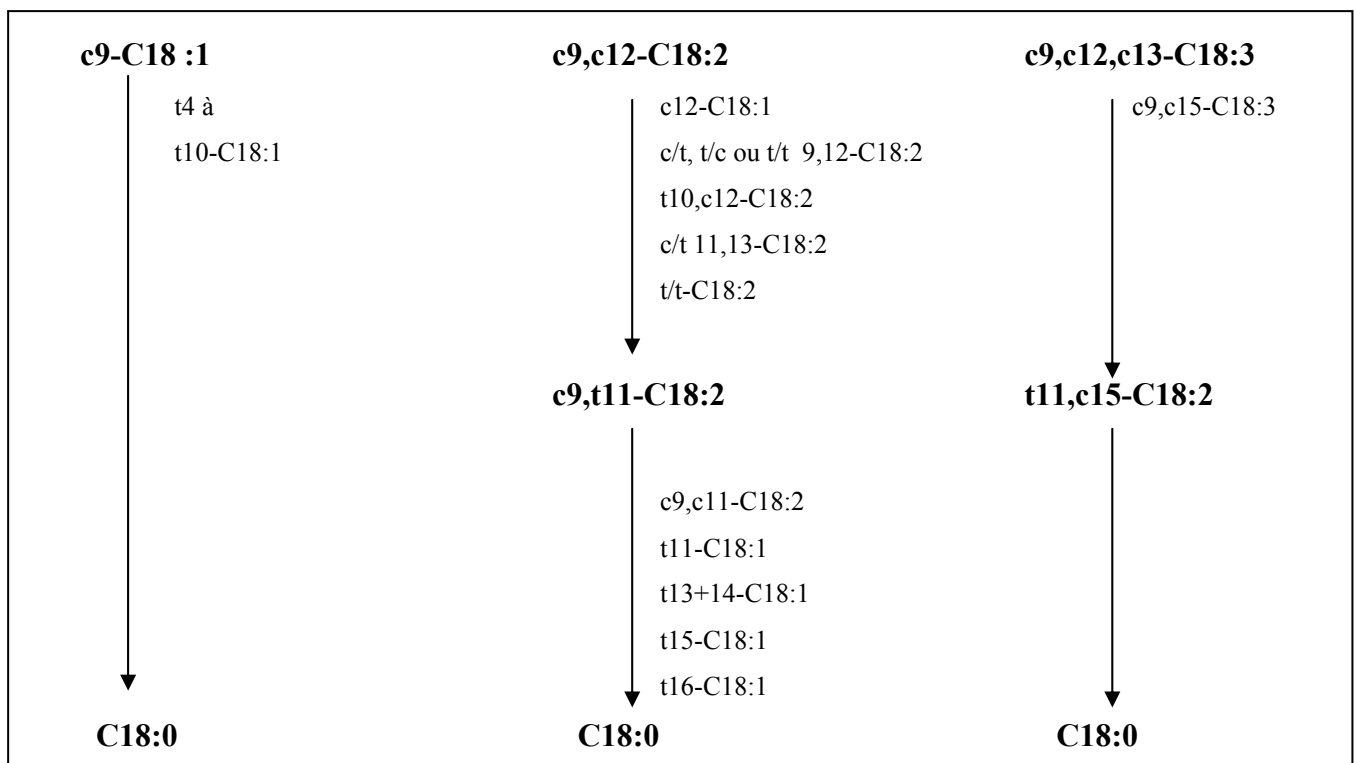
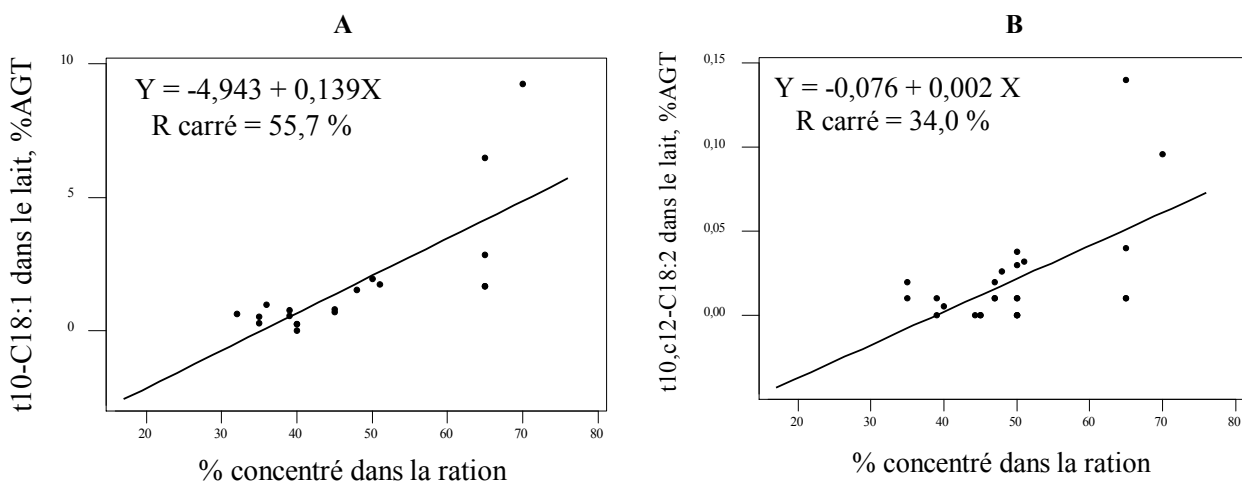


Schéma 2 : Produits de biohydrogénation des C18:1, C18:2 et C18:3 (Loor et al., 2002a).



L'effet de l'apport de lipides alimentaires sur le profil en AG *trans* et CLA du lait peut être confondu avec l'effet du pourcentage de concentré de la ration. Griinari et al. (1998) ont montré que l'accroissement du pourcentage de concentré d'une ration riche en AG insaturés a induit une diminution des teneurs en t11-C18:1 dans le lait et une augmentation du t10-C18:1. Certains auteurs ont même obtenus des teneurs de t10- supérieures à celles du t11-C18:1 lorsque des rations riches en concentré (65% de la MS) sont supplémentées avec 5% d'huile de soja (Piperova et al., 2000) ou de tournesol (Loor et al., 2005b, Peterson et al., 2003). L'augmentation du pourcentage de concentré accroît aussi les teneurs en t10,c12-C18:2 dans le lait (Figure B8) .

Les expérimentations étudiant les effets de l'interaction entre l'apport d'OP et le pourcentage de concentré de la ration sur le profil en *trans*-C18:1 et en CLA du lait sont rares. Loor et al. (2005a) ont rapporté une tendance à une plus forte augmentation des teneurs en t10- et en t11-C18:1 chez des vaches laitières alimentées des rations riches en concentré avec de l'huile de lin par rapport à celles nourries avec des rations sans lipides ajoutés, ou avec des faibles pourcentages de concentré (Tableau B16). L'effet de cet interaction n'a pas été significatif sur les teneurs en c9,t11-C18:2 (Loor et al., 2005a).



**Figure B8** : Relation entre les teneurs en t10-C18:1 (A,  $r=1,67$ ) et en t10,c12-C18:2 (B,  $r=0,02$ ) dans le lait et le pourcentage de concentré de la ration (%MS).

*De façon comparable aux vaches, les teneurs en trans-C18:1 du lait de chèvre représentent de 5 à 15% des isomères du C18:1 total et elles augmentent (surtout le t11-*

*C18:1) lors de la supplémentation lipidique (Chilliard et al. 2003, Chilliard et Ferlay, 2004). Les teneurs en t10-C18:1 du lait de chèvre sont significativement augmentées par les rations riches en concentrés (LeDoux et al., 2002), principalement quand elles sont supplémentées en lipides (Tableau B16).*

*Le type de fourrage (foin de luzerne vs Rumiluz) de la ration semble avoir un impact sur les teneurs en t10-C18:1, tout comme sur les autres isomères trans du lait (LeDoux et al., 2002). L'étude des effets des fourrages sur le profil en AG du lait n'est pas le but de cette revue, mais, à titre d'exemple, chez la chèvre, des teneurs plus élevées en t10-C18:1 ont été obtenues quand des huiles végétales ont été ajoutées à des rations à base d'ensilage de maïs qu' à des rations à base de foin, en l'absence de variation du TB (Chilliard et Ferlay, 2004).*

**Tableau B16 :** Teneurs en t10-C18:1, t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 dans le lait de vache et de chèvre selon le pourcentage de concentré (bas vs. haut) et l'apport lipidique (témoin vs. supplémentés).

<i>Acides gras</i> (%AGT)	<i>Bas concentré</i>		<i>Haut concentré</i>		
	<i>Témoin</i>	<i>Supplémentées</i>	<i>Témoin</i>	<i>Supplémentées</i>	
Vache <sup>1</sup>	t10-C <sub>18:1</sub>	0,28	0,52	1,66	2,84
	t11-C <sub>18:1</sub>	1,12	3,23	1,32	4,53
	c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,62	1,34	0,81	2,54
Chèvre <sup>2</sup>	t10-C <sub>18:1</sub>	0,12	0,43	0,33	1,00
	t11-C <sub>18:1</sub>	0,54	7,78	1,27	7,36
	c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,30	3,05	0,70	3,33

<sup>1</sup>Données de Loor et al. (2005a). 35 vs. 65% de concentré et 3% d'huile de lin.

<sup>2</sup>Données de Chilliard et Ferlay (2004). 46 vs. 70% de concentré et 4,4% d'huile de lin.

#### *- AG impairs et ramifiés*

Les AG impairs et ramifiés présents dans le lait sont d'origine ruminale et mammaire. Les AG impairs sont synthétisés par les bactéries principalement à partir des AGV (propionate et valérate) et les ramifiés, à partir des acides aminés (du type valine, leucine et isoleucine) et de l'iso-butyrate, iso-valérate et du 2-méthylbutyrate (Massart-Léon et al., 1983, Doreau et Chilliard, 1997, Sauvart et Bas, 2001). De manière générale, la synthèse de ces AG (Tableau B17 - AG impairs) est diminuée par la supplémentation lipidique sous forme de graines ou d'huiles en raison des altérations que les lipides provoquent sur le métabolisme ruminal.

**Tableau B17** : Effet de l'apport des lipides sur l'écart du profil en AG impairs dans le lait des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en graines ou huiles d'oléo-protéagineux<sup>1</sup>.

Acides gras (%AGT)	Apport lipidique sous forme de graine	Apport lipidique sous forme d'huile
AG impairs		
C <sub>11:0</sub>	-0,02 ± 0,03 (7) +	-0,42 ± 0,63 (3) NS
C <sub>13:0</sub>	-0,02 ± 0,02 (5) +	-0,12 ± 0,01 (2) +
C <sub>15:0</sub>	-0,38 ± 0,28 (66) ***	-0,32 ± 0,20 (23) ***
C <sub>17:0</sub>	-0,14 ± 0,19 (58) ***	-0,09 ± 0,11 (29) ***

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne ± écart-type et les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de lots comparés.

<sup>2</sup>\*\*\* P<0,001 ; \*\* P<0,01 ; \* P<0,05 ; + P<0,10 ; NS non significatif.

*Les principaux AG ramifiés (AG ramifiées totaux : presque 2% des AG totaux) du lait de chèvre sont les ai-C15:0, ai-C17:0 et i-C16:0 (Schmidely et Sauvant, 2001). D'autres AG ramifiées (AG avec groupement méthyle) rares dans le lait de vache sont présents dans le lait de chèvre, indiquant que chez cette espèce l'utilisation du methylmalonyl-CoA (produit à partir du propionyl-CoA) à la place du malonyl-CoA est possible (Massart-Lëen et al., 1981/1983). La glande mammaire caprine peut synthétiser des AG impairs (principalement du C11:0-C15:0) à partir du propionate (Massart-Lëen et al., 1981/1983), ce qui expliquerait les teneurs (environ 2%) des ces AG dans le lait de chèvre (Schmidely et Sauvant, 2001).*

*Il y a très peu d'études rapportant les proportions des AG impaires et ramifiées suite à l'apport de lipides, néanmoins ces teneurs ont été réduites par la supplémentation avec des graines ou des huiles de tournesol (classique ou oléique), des graines ou des huiles de lin ou des graines de soja (Chilliard et al., 2003, Schmidely et al., 2005, Bernard et al., 2005b).*

## 5. Conclusions

L'apport de lipides alimentaires constitue un moyen efficace pour moduler le TB, et surtout pour manipuler le profil en AG du lait mais, l'utilisation des graines d'OP ou des huiles n'ont pas le même impact sur les performances laitières. De manière générale, les huiles ont plus d'effet négatif sur l'ingestion, ce qui reflète une action plus défavorable sur le métabolisme ruminal qu'avec des graines. Chez la vache laitière, l'utilisation d'huile d'OP provoque des réductions du TB et de la production de MG en relation avec une forte augmentation des teneurs des *trans*-C18:1 et de certains CLA dans le rumen et le lait. Toutefois, le choix de l'incorporation des lipides sous forme d'huiles ou de graines ne dépend pas que des effets recherchés, mais il est aussi une question de faisabilité ; l'utilisation des graines dans les élevages peut s'avérer une pratique plus commode que celle des huiles. Par ailleurs, les effets de la supplémentation lipidique sont variables selon le stade physiologique, principalement sur la PL qui est accrue pendant les phases initiales de la lactation, période durant laquelle l'apport de lipides aide à réduire le déficit énergétique des animaux. Le type de traitement technologique appliqué aux graines ou aux huiles peut avoir une influence sur l'amplitude des effets des OP sur les performances laitières et la composition en AG du lait, mais dans les résultats que nous avons compilés il est difficile de séparer l'effet traitement de l'effet de l'origine botanique.

Le choix de la nature de l'OP est aussi d'une importance capitale en ce qui concerne le profil en AG du lait. Des graines riches en acide linoléique, comme le soja et le tournesol, augmentent les proportions de C18:2 totaux dans le lait tout comme celles des *trans*-C18:1 (surtout du t11-C18:1) et des CLA totaux (surtout du c9,t11-C18:2). Quand les graines de colza sont utilisées les teneurs en *trans*-C18:1 et en CLA totaux dans le lait sont inférieures à celles obtenues avec le soja et le lin, mais il y a moins de différence si ces OP sont utilisés sous forme d'huile. Le lin augmente fortement les teneurs en C18:3 totaux dans le lait et aussi le CLA totaux. Cependant, des différences entre les sources ne sont pas liés qu'à leurs compositions en AG, mais aussi à leurs effets directs sur les voies de biohydrogénation des AGPI d'origine alimentaire et des effets indirects sur la capacité de désaturation de C18:0 dans la glande mammaire. Par ailleurs, le pourcentage de concentré de la ration peut influencer le profil des *trans*-C18:1 et des CLA produit dans le rumen, néanmoins, peu d'études ont évalué les effets de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport d'OP sur le profil en AG du lait, ce qui mériterait plus d'attention.

## **Partie II : Etudes Expérimentales**

# 1. Principales caractéristiques des expérimentations

Chez la chèvre, la majorité des données disponibles sur la composition en AG du lait sont issues d'expérimentations durant lesquelles l'apport de lipides s'est effectué sous forme d'huiles, et dans lesquelles les pourcentages élevés de concentré sont parfois éloignés des pratiques d'élevage. Par ailleurs, aucune donnée n'est disponible à notre connaissance sur les flux d'AG dans le duodénum en réponse aux variations d'apport de lipides ou sous l'influence de pourcentage de concentré variables. Nos objectifs ont donc visé à caractériser ces phénomènes au niveau duodénal, et à les relier aux variations de profil en AG du lait. Enfin, nous avons souhaité identifier le rôle du t10,c12-C18:2 sur la synthèse de MG du lait et ses interactions potentielles avec la composition en AG de la ration.

## 1.1. Animaux et régimes

La partie expérimentale de ce travail est composée de deux essais, qui ont présenté des protocoles similaires, i.e. le même type d'animal (chèvres laitières en milieu de lactation) et les mêmes techniques opératoires et expérimentales de façon à faciliter la comparaison des résultats. La principale différence entre les deux expérimentations a concerné la nature de la supplémentation lipidique. Lors de la 1<sup>ère</sup> expérimentation (Exp.1), les chèvres ont reçu des rations qui combinaient le pourcentage de concentré (bas (L): 45% de la MS de la ration vs. haut (H): 65%) et l'apport de graines de colza laminées (CS20: 20% de colza dans la MS du concentré vs. CS0: groupe témoin sans colza). Dans la 2<sup>ème</sup> expérimentation (Exp.2), deux sources lipidiques ont été comparées. Les rations ont de nouveau associé le pourcentage de concentré (L: 45 vs. H: 65% de concentré) et la nature de la graine d'OP au sein du concentré (graines de colza laminées (CS: 20% de la MS du concentré) vs. des graines de soja extrudées et broyées (SB: 27% de la MS du concentré). Les rations ont été formulées pour que la supplémentation lipidique soit iso UFL et iso PDIN pour un pourcentage de concentré donné.

Dans les 2 expérimentations, les chèvres (environ 44 j de lactation) ont été allotées en 4 groupes correspondant aux régimes expérimentaux dans un dispositif factoriel 2 x 2, selon la production et la composition du lait. Trente-deux (Exp.1) et 24 (Exp.2) chèvres multipares,

dont 12 (Exp.1) et 8 (Exp.2) portant des fistules ruminales et duodénales, ont été alimentées *ad libitum* deux fois par jour, à 7h00 et 16h00. Les traites ont aussi été réalisées deux fois par jour. La durée des expérimentations a été de 15 semaines (Exp.1) et de 8 semaines (Exp.2).

## 1.2. Mesures et prélèvements

- *Les prélèvements suivants ont été réalisés :*

- Composition des rations et ingestion: des échantillons représentatifs des rations complètes ( $n = 4$ , semaine 5, 9, 11 et 14 pour l'Exp.1 et  $n = 2$ , semaine 5 et 8 pour l'Exp.2) ont été prélevés pour dosage des principaux constituants chimiques: NDF, ADF, extrait étheré (EE), protéines, amidon (Exp.1 uniquement). Le profil en AG des rations a été déterminé lors des périodes de mesure de flux duodénaux (Exp.1: semaines 5 et 11 et Exp.2: semaine 5) et d'infusion pour l'Exp.2 (semaine 8). L'ingestion et les refus ont été mesurés tous les jours et la MS des rations tous les 15 j. Les chèvres ont été pesées toutes les semaines.

- Production et composition du lait: la PL a été mesurée quotidiennement, et des prélèvements hebdomadaires pour déterminer le TB, le TP et les cellules somatiques ont été réalisées avant le début de l'Exp.1 et pendant toute leur durée des Exp.1 et 2. La teneur en lactose du lait a été mesurée en semaine 6 et 12 (Exp.1) et 5 à 8 (Exp.2). Le profil en AG de la MG du lait a été déterminée en semaine 6 et 12 (Exp.1) et 5 et 8 (Exp.2). La teneur en urée du lait a été mesurée en semaine 5 à 8 (Exp.2 uniquement).

- Paramètres plasmatiques (glucose, AGNE et urée): des prélèvements sanguins ont été effectués tous les 15 j, à jeun après la traite du matin, et avant la distribution de la ration, sur l'ensemble des chèvres pendant l'Exp.1 et seulement sur les chèvres fistulées de l'Exp.2.

- Caractéristiques fermentaires dans le rumen, flux duodénaux et digestibilité fécale des rations: mesurés en semaines 4-6 et 10-12 pour l'Exp.1 et semaines 3-5 pour l'Exp.2. Les fèces ont été utilisées pour des déterminations de MS, NDF, ADF et ADL et les contenus duodénaux pour la détermination de MS, NDF, ADF, ADL, EE et profil en AG. Des contenus ruminaux ont été collectés en même temps et utilisés pour la détermination du pH (Exp.1 et 2), du NH<sub>3</sub> et des AGV (Exp.1).

- *Dosages réalisés :*

Pour l'Exp.1, les dosages concernant les composants chimiques des aliments (NDF, ADF, protéines, EE et amidon) ont été réalisés au laboratoire du Contrôle Laitier (Syndicat

Interdépartemental de L'Elevage, Le Mee). Une partie de ces dosages a été refaite (NDF, ADF et EE) au laboratoire de l'UMR INRA INA-PG Physiologie de la Nutrition et Alimentation et les valeurs ont été présentées dans l'article 3 (**aspects digestifs**). La teneur et le profil en AG des aliments ont été déterminés par la société Oméga 21 (INRA-UNL 17, Dijon) et correspondent aux valeurs présentées dans les articles 1 (article zootechnique) et 4 (infusion de CLA). Ces analyses ont été refaites au laboratoire de l'UMR INRA INA-PG Physiologie de la Nutrition et Alimentation et les valeurs ont été présentées dans l'article 3 (aspects digestifs). Pour l'Exp.2, tous les dosages des composants chimiques des aliments (NDF, ADF, protéines, EE, teneur et profil d'AG) ont été réalisés au laboratoire de l'UMR INRA INA-PG Physiologie de la Nutrition et Alimentation.

Pour les 2 expérimentations, la détermination de la composition du lait (TB, TP, cellules somatiques) a été effectuée au laboratoire du Contrôle Laitier. La teneur en lactose du lait a été déterminée au laboratoire de l'UMR (Exp.1) et du Contrôle laitier (Exp.2). Le profil en AG du lait a été caractérisé au laboratoire de l'UMR pour les 2 expérimentations.

Pour les Exp.1 et 2, les paramètres plasmatiques, ruminiaux et la composition des contenus duodénaux et fécaux ont été dosés au laboratoire de Physiologie de la Nutrition et Alimentation à l'exception des dosages du marqueur (Chrome) qui a été réalisé au Laboratoire d'Alimentation du Département Elevage et Produits de l'ENV de Toulouse.

Les méthodes d'analyses utilisées sont décrites dans les articles.

*- Infusions duodénales de CLA :*

A la fin de chacune des 2 expérimentations, après la période de mesure des bilans duodénaux (2<sup>ème</sup> période pour l'Exp.1), des infusions de 2g de t10,c12-C18:2 (AG libre, >98% de pureté, Interchim, Montluçon) et de lait écrémé (solution témoin) ont été effectuées par voie duodénale sur 10 h continues. Pour chaque expérimentation, les infusions ont été réalisées sur 2 semaines (4 chèvres/semaine), selon le schéma suivant :

Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5
	<i>Infusion de t10,c12-C18:2 + lait écrémé</i>			<i>Infusion de lait écrémé</i>	
<i>Prélèvement de lait en traites séparées, mesure de l'ingestion</i>					

Le protocole des infusions est présenté dans l'article 4 (aspect métaboliques).



## 2. Aspects zootechniques (Articles 1 et 2)

### 2.1. Expérimentation 1 (Article 1)

**Andrade, P.V.D., Schmidely, Ph. (2006). Influence of percentage of concentrate in combination with rolled canola seeds on performance, rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy goats. Livestock Science, *in press*<sup>1</sup>**

#### Abstract

The effect of rolled canola seeds (CS, 0% or 20% of the dry matter (DM) of the concentrate) combined with percentage of concentrate (45% (L) vs. 65% (H) of the diet DM) on rumen fermentation characteristics, production parameters, and fatty acid (FA) profile of milk fat was studied in 20 entire goats and 12 goats fitted with ruminal and duodenal cannula. Goats were fed TMR ad libitum for 15 weeks with the final 12 weeks as the test period. Individual milk samples were taken in weeks 5 and 11 to determine the FA profile of milk fat. Feeding the H diets increased  $NE_L$  intake, raw milk yield, and yield of fat, protein, and lactose. Feeding CS20 increased fat corrected milk, milk fat content and fat yield. Combination of CS20 and high percentage of concentrate increased fat corrected milk and fat yield. Milk protein content was not affected by dietary factors. Feeding the H diets increased the proportion of short-chain FA (C4:0-C8:0), each isomer of *trans*-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk at the expense of medium-chain FA with 11 to 17 C units. Feeding CS20 decreased the proportion of medium-chain FA with 10 to 17 C units in milk and it increased that of C18:0, all isomers of *trans*-C18:1, c9-C18:1 and c9,t11-C18:2. Goats fed the H diets, and those fed the CS20 had lower c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratios. Combination of CS20 and high percentage of concentrate produced the highest proportion of all isomers of *trans*-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk, with the highest variability among the four diets for these FA. This was possibly related to between-goats differences in ruminal fermentation and to individual difference in desaturase activity in the mammary gland. It is concluded that feeding a high-concentrate diet combined with rolled canola seeds had a

<sup>1</sup> Le format de l'article (titres, tableaux) et l'intitulé des groupes expérimentaux ont été modifiés pour correspondre au format de la thèse. Aucune modification de texte n'a été introduite.

synergistic effect on the milk production and fat yield without alteration in milk protein content in dairy goats. This combination also resulted in changes in FA profile that may differently affect the nutritional value of goat milk for human health.

*Keywords:* Conjugated linoleic acid; Milk fat; Canola seeds; Percentage of concentrate; Goat

### 2.1.1. Introduction

To improve the nutritional and health characteristics of milk fat from ruminants (Williams, 2000), fatty acid (FA) profile has to be modified to increase polyunsaturated fatty acids (PUFA) and conjugated linoleic acids (CLA) at the expense of medium-chain saturated FA (MCSFA). Indeed, some CLA isomers as c9,t11-C18:2 and t10,c12-C18:2 are known to possess several physiological effects, such as inhibiting carcinogenesis at least in animal models (Williams, 2000). However, the favourable health effects of CLA may be counteracted by the simultaneous increase in some *trans* mono-unsaturated FA other than *trans* vaccenic acid (t11-C18:1, TVA), that have been sometimes supposed atherogenic (EFSA, 2004). *Trans* mono-unsaturated FA and CLA in milk depend on their ruminal production, but c9,t11-C18:2 in milk originates mainly from desaturation of t11-C18:1 via stearyl-CoA desaturase ( $\Delta^9$  desaturase) in the mammary gland (Bauman et al., 2001). Consequently, a relationship between t11-C18:1 and c9,t11-C18:2 was found in milk from cows and goats (Chilliard and Ferlay, 2004), but between-animal variations have never been explored with simultaneous monitoring of feed intake (Peterson et al., 2002b, Kelsey et al., 2003).

Increasing the dietary concentrate/forage (C/F) ratio represents an efficient way to modify milk FA composition (Chilliard et al., 2003; Chilliard and Ferlay, 2004). Feeding high-concentrate diets increased the percentage of total *trans*-C18:1 FA in milk of cows (Piperova et al., 2002) and goats (Calderon et al., 1984; Ledoux et al., 2002). Feeding unsaturated vegetable oils also increased total *trans*-C18:1 FA and c9,t11-C18:2 in milk fat of cows (Peterson et al., 2003, Looor et al., 2005a), particularly with high-concentrate diets (Piperova et al., 2000). Likewise, Chilliard et al. (2003) reported an increase in t11-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk fat of goats fed free oils in high-concentrate diets. However, because free oils may reduce fibre digestion in the rumen, processed full fat seeds are preferentially incorporated in the diet of ruminants. In the northern United States and Canada, as well in Europe, canola seeds are readily available. Feeding ground canola seeds increased the

proportions of t9-C18:1, t10+t11-C18:1, c9,t11-C18:2 in milk fat of cows (Collomb et al., 2004a, Chichlowski et al., 2005). To our knowledge, there is no data on *trans*-C18:1 and CLA content in milk of goats fed rolled canola seeds.

We hypothesized that a high C/F ratio combined with rolled canola seeds (CS20) would provide PUFA for CLA and t11-C18:1 production in the rumen, resulting in a high CLA content in the milk. Consequently, the primary objective of this trial was to evaluate the effect of a high vs. a low percentage of concentrate combined with CS20 supplementation on the FA profile of milk fat from goats, especially *trans*-FA and isomers of CLA. A secondary objective was to characterize goat variations for the profile of individual isomers of *trans*-C18:1 FA and for the relationship between t11-C18:1 and c9,t11-C18:2.

### 2.1.2. Materials and methods

#### - Goats and diets

Thirty-two multiparous Saanen or Alpine goats ( $62 \pm 8$  kg), 12 of which with ruminal and T-type duodenal cannulas, were used for 15 weeks from  $44 \pm 8$  days in milk. The first 3 weeks were used for covariate period (week 1) and adaptation to dietary treatments (weeks 2 and 3). At the onset of the trial, goats averaged  $4.0 \pm 0.9$  kg/day of milk yield,  $38.1 \pm 7.1$  g/L of milk fat and  $31.7 \pm 2.8$  g/L of milk protein. During the trial, goats were housed in individual metabolic crates with wooden floor and they had free access to water and trace-mineralized salt blocks. Goats were milked twice daily (0700, 1600 h) and milk yield was recorded every day. Milk fat, lactose and protein contents and SCC were recorded on two consecutive days each week. Samples from two consecutive milkings were taken on week 5 and week 11 to determine FA profile of milk fat.

Goats were fed ad libitum a TMR twice daily in equal proportions at 0800 and 1700 h. Amounts fed and refused were recorded daily. During the first week of the trial, goats were fed a basal TMR (32% dehydrated grinded alfalfa, 18% grass hay, 30% beet pulp silage and 20% commercial concentrate (Fluvialac, Agralys Aliment, Chateaudun, France) on a DM basis). During weeks 2 and 3, goats were gradually switched from the basal TMR to one of the 4 experimental diets: week 2 was for adaptation to percentage of concentrate and week 3 was for adaptation to lipid supplementation.

Experimental diets were constituted by a 2 x 2 factorial arrangement of percentage of concentrate in TMR (Low (L) = 45% vs. High (H) = 65% of diet DM) and CS (CS0 = no CS

vs. CS20 = 20% of concentrate DM). Full-fat canola seeds were purchased locally, rolled at three separate times (at the beginning, in the middle and at the end of the trial) and stored in dark bags at 4 °C to avoid lipid oxidation. The 4 TMR (Table 1) were formulated using the NE<sub>L</sub> (Net Energy for lactation) and PDI (Digestible Protein in the Intestine) feeding systems (INRA, 1989) to meet or exceed the requirements of goats producing 4 kg milk and consuming 3 kg DM daily. Within a given percentage of concentrate, diets were calculated to be iso-nitrogenous and to have similar NE<sub>L</sub> values. The 20 uncannulated goats and the 12 cannulated goats were assigned to the four experimental diets according to their milk yield and the milk fat content determined on week 1.

**Table 1:** Ingredients of the low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds.

Percentage of concentrate Fat addition	Low		High	
	CS0	CS20	CS0	CS20
<i>Ingredients</i>	% DM			
Dehydrated grinded alfalfa	35.3	35.3	22.0	22.0
Grass hay	17.7	17.7	11.0	11.1
Beet pulp silage	25.0	25.0	25.0	25.0
Barley	7.3	8.8	14.7	17.6
Corn	8.0	3.5	15.9	6.9
Soybean meal	4.1	3.1	8.2	6.1
Rolled canola seed	0	4.1	0	8.2
Beet molasses	0.6	0.6	1.2	1.2
Minerals and vitamins	1.0	1.0	1.0	1.0
Sodium bicarbonate	1.0	1.0	1.0	1.0

#### - Sampling and analysis

Blood samples were collected with heparinized tube from jugular vein each 2 weeks just before morning feeding. They were immediately centrifuged, and plasma was stored (-18 °C) until analysis of glucose, NEFA, and urea using a CPA-Analyser (Coultronics, Les Ulis, France) with kits (Glucose-quant, Roche Diagnostic, Mannheim, Germany; Urea, Roche Diagnostic, Mannheim, Germany; NEFA C, Wako, Chemical GmBH, Neuss, Germany).

On weeks 5 and 11, ruminal fluid was collected before and 3 h after the morning feeding. Following immediate determination of pH, ruminal fluid was acidified with 25%

(wt/vol) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and frozen until analysis of ammonia (Wheatherburn, 1967) and VFA (Kristensen et al., 2000).

Samples ( $n = 4$ ) of diets were collected for each batch of CS and at the end of the experimental period, dried at 55 °C, and ground (2 mm) to determine of NDF and ADF (Van Soest et al., 1991), N (microKjeldahl technique) and starch. Starch content was determined by IR spectrophotometry in feed commercial laboratory (INZO, Château-Thierry, France). Samples ( $n = 2$ ) of diets were collected on weeks 5 and 11 for the analysis of total FA content and the determination of FA profile. These samples were immediately stored at -20 °C, later lyophilized (72 h) and ground (1 mm) until analysis.

Each week, samples of milk collected with Bronopol were stored (4 °C) until analysis for protein and fat by IR spectrophotometry in Milk Recording Organisation laboratory (Syndicat Interdepartemental de l'Élevage, Le Mee, France). Samples of milk collected on weeks 5 and 11 for FA and lactose determination were frozen without conservative. Milk lactose was analyzed with a phenol-HCl reducing solution using an Auto-analyzer (Technicon, France). Because of clotting problems, samples of milk were not analyzed on week 12.

Extraction of lipid from the TMR was performed according to Folch et al. (1957). Milk fat was extracted twice with ethanol/12N-HCl/hexane and tricosanoic acid (C<sub>23:0</sub>, 0.5 mg/mL) was added as internal standard to the solution. The FA were methylated at room temperature with a methanolic boron trifluoride solution (14 %, wt/vol). Methyl-esters of FA were then recuperated in hexane.

Methyl-esters of FA from milk or feed were separated on a 100 m x 0.25 mm i.d. fused silica capillary column (CP-Sil 88, Interchim, Montluçon, France) using a Varian Chromopack CP 3800 gas chromatograph (Varian SA, Les Ulis, France). The split ratio in the injector port (250 °C) was 20:1 with a column flow of 1 mL/min of He. Injector and detector temperatures were maintained at 250 °C. Oven temperature was programmed for 50 °C (for 1 min), then increased to 170 °C at 10 °C/min (held for 78 min), and rose to 220 °C at 5 °C/min (held for 15 min). Individual FA was identified by comparison of retention time to those of pure FA methyl-esters standards (Supelco Inc, Bellefonte, USA). Identification of *trans*-C<sub>18:1</sub> isomer peaks other than t<sub>9</sub>-C<sub>18:1</sub> and t<sub>11</sub>-C<sub>18:1</sub> (commercially available) was done as described by Ledoux et al. (2002) by using the equivalent chain length measured with *trans*-C<sub>18:1</sub> isomers kindly supplied by Dr. Robert L. Wolff, (ISTAB, University of Bordeaux).

*- Statistical analysis*

Data obtained for rumen sampling on weeks 5 and 11 were averaged by goat. Ruminant samples obtained before and 3 h after feeding were analyzed separately with a model including the fixed effects of percentage of concentrate, canola seeds, and their interaction (GLM procedure of SAS (SAS Institute, 2000)). All other data were analyzed using the MIXED procedure of SAS for repeated measurements. Fixed effects were the percentage of concentrate, canola seeds, the time, the interactions between fixed effects and an appropriate covariate. Random effect of goat was used as the error term. First autoregressive [AR(1)] was used as variance-covariance structure. For FA proportion in milk fat, analysis was realized without covariate. Significance was declared at  $P < 0.05$ .

**2.1.3. Results***- Diet composition*

The H diets had a lower content of NDF and ADF, and a higher content of FA, CP and starch than the L diets (Table 2). The CS20 diets had higher FA and lower starch content than the CS0 diets. The H-CS20 diet had the highest FA content among the 4 diets. All diets had lower CP and PDI contents than expected (Table 2) and they were below PDI (INRA, 1989) or metabolizable protein (MP) requirements for dairy goats (Nsahlai et al., 2004). The H diets had lower proportion of C16:0 and c9,c12,c15-C18:3, and higher proportion of c9-C18:1 and c9,c12-C18:2 in dietary FA than the L diets (Table 2). The CS20 diets had lower proportion of C16:0, c9,c12-C18:2 and c9,c12,c15-C18:3 and higher proportion of c9-C18:1 in dietary FA than the CS0 diets.

**Table 2:** Chemical composition, nutritional values and fatty acid profile of the low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition	Low		High		SEM	<i>P</i> values of effects <sup>2</sup>		
	CS0	CS20	CS0	CS20		C	CS	CxCS
<i>Chemical composition</i>	% DM							
Fatty acids	1.6	2.7	1.8	4.8	0.48	***	***	**
CP	12.6	12.5	13.4	13.3	0.12	***	NS	NS
NDF	44.0	44.7	38.4	38.1	1.13	***	NS	NS
ADF	27.5	27.7	22.4	22.3	0.84	***	NS	NS
Starch	15.2	13.3	24.4	20.7	1.17	***	**	NS
PDIE <sup>3</sup> (g/kg DM)	73	74	82	80	1.0	***	NS	NS
PDIN <sup>3</sup> (g/kg DM)	78	78	83	82	0.8	***	NS	NS
NE <sub>L</sub> <sup>3</sup> (kcal/kg DM)	1386	1424	1598	1547	24.4	***	NS	†
<i>Fatty acids</i>	% total fatty acid							
C <sub>12:0</sub> - C <sub>15:0</sub>	0.79	0.39	0.46	0.21	0.08	**	**	NS
C <sub>16:0</sub>	17.89	9.95	16.39	8.45	1.53	*	**	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0.40	0.32	0.27	0.32	0.02	NS	*	NS
C <sub>17:0</sub>	0.16	0.08	0.11	0.07	0.01	*	**	NS
C <sub>18:0</sub>	1.90	1.69	1.87	1.62	0.04	*	***	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	14.96	43.97	20.48	48.95	4.93	**	***	NS
Total <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	NS	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	40.26	26.49	47.11	27.22	3.31	**	***	*
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.08	0.07	0.05	0.02	0.001	**	*	NS
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	20.90	13.36	11.45	9.56	0.01	***	*	*
C <sub>20:0</sub> - C <sub>24:0</sub>	2.64	3.66	1.80	3.56	0.14	**	*	*

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 4$  samples per diet), except for total FA and FA profile ( $n = 2$  samples per diet).

<sup>2</sup>C: effect of percentage of concentrate; CS: effect of rolled canola seeds; C x CS: interaction between percentage of concentrate and rolled canola seeds. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

<sup>3</sup>Calculated values (INRA, 1989). PDIN and PDIE = Digestible CP in the intestine from microbial protein synthesis when availability of fermentable N in the rumen is limiting, and from microbial protein synthesis when availability of energy in the rumen is limiting, respectively (INRA, 1989).

#### - DMI, milk production and composition

DMI was not affected by the dietary factors (Table 3), though H-CS20 goats tended to have the highest DMI (percentage of concentrate x CS:  $P < 0.10$ ). The H goats had higher NE<sub>L</sub> intake, RMY (Fig. 1A), FCM and yields of fat, protein, and lactose (Table 3) than L goats.

They also tended to have higher  $NE_L$  balance and higher lactose content in milk. Effects of percentage of concentrate and interaction between percentage of concentrate and time on milk fat and protein content were not significant (Fig. 1B,C).

**Table 3:** Production parameters of dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds<sup>1</sup>.

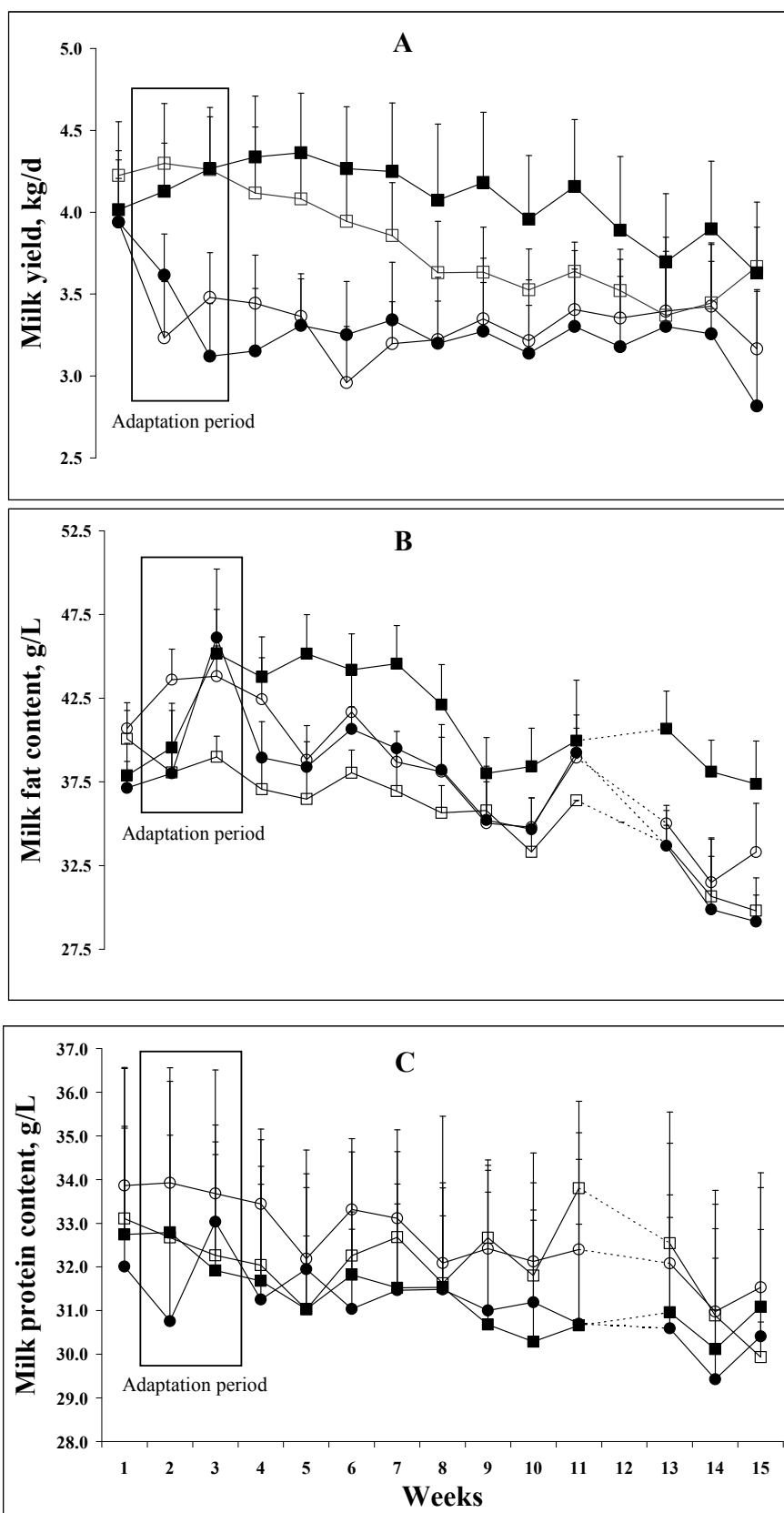
Percentage of concentrate Fat addition	Low		High		SEM	<i>P</i> values of effects <sup>2</sup>		
	CS0	CS20	CS0	CS20		C	CS	CxCS
DMI (kg/day)	2.8	2.5	2.9	3.0	0.08	NS	NS	†
$NE_L$ Intake (kcal/day)	3906	3617	4565	4618	180	**	NS	NS
Milk yield (kg/day)	3.3	3.2	3.7	4.1	0.17	*	NS	†
FCM (kg/day)	3.7	3.5	4.0	4.4	0.18	**	*	*
Milk fat (g/L)	36.6	36.3	34.7	41.0	0.9	NS	***	NS
Milk protein (g/L)	32.2	31.2	31.7	31.1	0.4	NS	NS	NS
Milk lactose (g/L)	47.5	46.9	48.7	48.2	0.4	†	NS	NS
Fat yield (g/day)	125	119	133	161	7.0	**	***	**
Protein yield (g/day)	109	102	122	121	4.9	*	NS	†
Lactose yield (g/day)	161	158	189	204	8.7	**	NS	NS
$NE_L$ Balance (kcal/day)	18	-209	303	32	94.6	†	NS	NS
SCC ( $10^3$ /mL)	536	1328	1096	1182	188	NS	NS	NS

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 8$  goats per group).

<sup>2</sup>C: effect of percentage of concentrate; CS: effect of rolled canola seeds; C x CS: interaction between percentage of concentrate and rolled canola seeds. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

Goats fed the CS20 diets had higher FCM, milk fat content and yield than those fed the CS0 diets; goats fed CS20 combined with high-concentrate diet had the highest FCM and fat yield. Milk lactose content and yield, milk protein content and yield, and  $NE_L$  balance were not affected by CS20 supplementation nor by interaction between percentage of concentrate and CS20. Interaction between CS20 supplementation and time on milk production and milk composition was not significant (Fig 1A,B,C).





**Figure 1.** Raw milk yield (panel A), milk fat content (panel B) and milk protein content (panel C) from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds. Values presented are means ± SE.

## - Ruminal fermentation and plasma metabolites

**Table 4:** Fermentation characteristics in the ruminal fluid collected before and 3 h after feeding in dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition	Low		High		SEM	<i>P</i> values of effects <sup>2</sup>		
	CS0	CS20	CS0	CS20		C	CS	CxCS
<i>Before feeding</i>								
pH	6.91	6.97	6.81	7.04	0.05	NS	NS	NS
Ammonia-N, mM	8.89	7.09	7.80	8.98	0.44	NS	NS	NS
Total VFA, mM	89.9	78.3	104.6	96.5	8.2	NS	NS	NS
VFA, mol/100 mol								
Acetate	67.1	65.5	62.7	62.6	0.9	†	NS	NS
Propionate	14.2	15.6	16.5	15.7	0.4	NS	NS	NS
Butyrate	12.1	11.4	14.3	13.6	0.6	†	NS	NS
Isobutyrate	1.07	1.15	1.00	1.49	0.10	NS	NS	NS
Valerate	0.82	0.81	1.08	1.01	0.07	NS	NS	NS
Isovalerate	0.83	0.77	0.79	1.16	0.10	NS	NS	NS
Caproate	3.98	4.67	3.62	4.39	0.21	NS	NS	NS
A/P ratio	4.74	4.20	3.84	4.10	0.15	NS	NS	NS
<i>3 h after feeding</i>								
pH	6.30	6.08	6.30	6.24	0.07	NS	NS	NS
Ammonia-N, mM	3.38	4.30	3.43	2.13	0.45	NS	NS	NS
Total VFA, mM	123.7	134.3	132.1	117.7	4.3	NS	NS	†
VFA, mol/100 mol								
Acetate	68.4	67.5	64.0	65.3	0.5	***	NS	*
Propionate	16.7	18.2	19.0	21.0	0.5	***	*	NS
Butyrate	10.2	9.9	11.3	9.4	0.3	NS	*	NS
Isobutyrate	0.63	0.50	0.71	0.18	0.07	NS	*	†
Valerate	0.78	0.94	0.96	0.87	0.03	NS	NS	*
Isovalerate	0.11	0.15	0.43	0.09	0.05	NS	NS	*
Caproate	3.20	2.90	3.60	3.21	0.15	NS	NS	NS
A/P ratio	4.12	3.72	3.39	3.12	0.11	***	*	NS

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 3$  goats per group).

<sup>2</sup>C: effect of percentage of concentrate; RCS: effect of rolled canola seeds; C x RCS: interaction between percentage of concentrate and rolled canola seeds. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

Before feeding, ruminal pH, ruminal NH<sub>3</sub>-N and VFA were not affected by the dietary factors or by their interaction (Table 4). Goats fed the H diets tended to have lower acetate and higher butyrate molar proportion before feeding than those fed the L diets. After feeding, pH, NH<sub>3</sub>-N, and VFA in ruminal fluid were not affected by the dietary factors or by their interaction, but VFA tended to be lower in ruminal fluid of goats fed the H-CS20 diets (percentage of concentrate x CS:  $P < 0.10$ ). After feeding, goats fed the H diets had lower proportion of acetate and higher proportion of propionate than those fed the L diets. Goats fed

the CS20 diets had a higher proportion of propionate, and lower proportions of butyrate and iso-butyrate than those fed the CS0 diets.

During the trial, urea ( $0.36 \pm 0.01$  g/L) and glucose ( $3.44 \pm 0.01$  mM) in plasma were not affected by the dietary factors (data not shown). Goats fed the H diets had lower NEFA in plasma than those fed the L diets: 171 vs. 241 mEq/L (SEM = 14,  $P < 0.05$ ).

#### - Milk fatty acid profile

The t4-C18:1 and t5-C18:1 isomers were present in milk fat, but they were below the detection limit. The t10,c12-C18:2 was never detected in any milk samples (Table 5).

Goats fed the H diets had higher proportion of C4:0 to C8:0, c6-C18:1, c11-C18:1, each *trans*-C18:1 isomer, and c9,t11-C18:2 in milk fat than those fed the L diets. They had lower proportion of straight saturated FA with 12 to 17 C units and branched-chain FA, and lower ratios c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 in milk fat than those fed the H diets.

Goats fed the CS20 diets had higher proportion of C4:0, saturated long-chain FA with 18 to 20 C units, each *cis*-C18:1 isomer, each *trans*-C18:1 isomer, c9,t11-C18:2 and c9,c12,c15-C18:3 in milk fat than those fed the L diets. They had lower proportion of straight saturated FA with 10 to 17 C units, branched-chain FA and c9,c12-C18:2 in milk fat. Ratios c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 were lower in milk fat of goats fed the CS20 diets.

Goats fed CS20 combined with high-concentrate diet had the lowest proportion of C16:0, anteiso-C15:0, C17:0 and anteiso-C17:0 (percentage of concentrate x CS:  $P < 0.10$  to 0.05) in milk fat; conversely they had the highest proportion of each *trans*-FA isomer, c6-C18:1, c11-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk fat (percentage of concentrate x CS:  $P < 0.01$  at least).

**Table 5 :** Fatty acid profile of milk fat from dairy goats fed low- or high-concentrate diets combined with (CS20) or without (CS0) rolled canola seeds<sup>1</sup>.

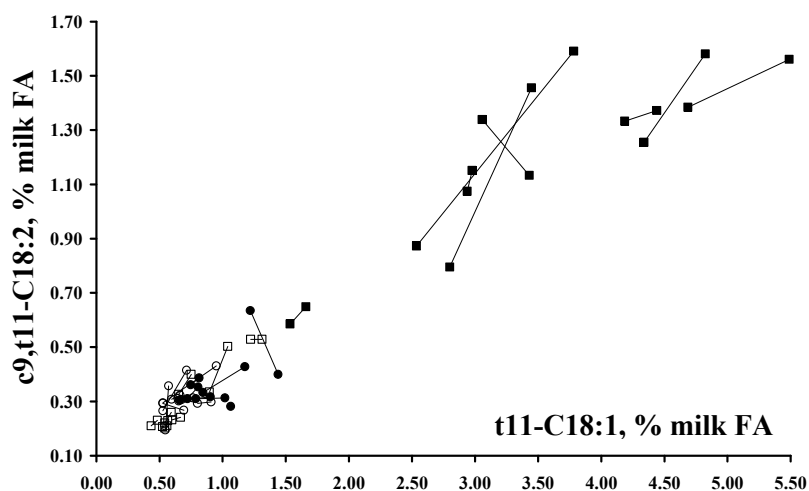
Percentage of concentrate Fat addition	Low		High		SEM	<i>P</i> values of effects <sup>2</sup>		
	CS0	CS20	CS0	CS20		C	CS	CxCS
<i>Fatty acid</i>	% of total fatty acids							
C <sub>4:0</sub>	1.57	1.70	1.70	1.86	0.03	*	*	NS
C <sub>6:0</sub>	1.94	1.97	2.10	2.19	0.03	**	NS	NS
C <sub>8:0</sub>	2.55	2.48	2.74	2.77	0.05	*	NS	NS
C <sub>10:0</sub>	10.50	8.90	10.82	9.28	0.20	NS	***	NS
C <sub>11:0</sub>	0.31	0.31	0.31	0.23	0.03	†	†	NS
C <sub>12:0</sub>	5.17	3.78	4.74	3.54	0.12	†	***	NS
C <sub>13:0</sub>	0.20	0.13	0.16	0.11	0.01	**	***	NS
C <sub>14:0</sub>	11.92	10.12	11.11	9.28	0.20	*	***	NS
iC <sub>14:0</sub>	0.13	0.12	0.10	0.07	0.01	***	†	NS
c9-C <sub>14:1</sub>	0.16	0.14	0.15	0.09	0.01	NS	†	NS
C <sub>15:0</sub>	1.33	1.14	1.09	0.88	0.03	***	***	NS
ai C <sub>15:0</sub>	0.35	0.35	0.32	0.26	0.01	***	*	†
C <sub>16:0</sub>	32.11	25.87	31.83	21.65	0.73	*	***	*
i C <sub>16:0</sub>	0.39	0.34	0.35	0.28	0.01	***	***	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0.68	0.51	0.56	0.40	0.02	***	***	NS
C <sub>17:0</sub>	0.94	0.77	0.80	0.56	0.02	***	***	†
ai C <sub>17:0</sub>	0.44	0.44	0.43	0.36	0.01	**	†	*
C <sub>18:0</sub>	6.47	10.80	6.76	11.80	0.34	NS	***	NS
t6+t7+t8-C <sub>18:1</sub>	0.13	0.31	0.14	0.75	0.03	***	***	***
t9-C <sub>18:1</sub>	0.16	0.30	0.17	0.59	0.02	***	***	***
t10-C <sub>18:1</sub>	0.18	0.30	0.21	0.68	0.03	***	***	***
t11-C <sub>18:1</sub> (TVA)	0.67	0.94	0.72	3.51	0.17	***	***	***
t12-C <sub>18:1</sub>	0.18	0.36	0.21	0.68	0.03	***	***	***
c6-C <sub>18:1</sub>	0.32	0.49	0.34	0.68	0.02	***	***	**
c9-C <sub>18:1</sub>	14.36	20.70	14.53	19.76	0.52	NS	***	NS
c11-C <sub>18:1</sub>	0.37	0.46	0.33	0.65	0.02	***	***	**
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0.22	0.31	0.33	0.31	0.01	NS	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	2.25	2.09	2.40	2.01	0.04	NS	**	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.31	0.37	0.30	1.20	0.05	***	***	***
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	0.60	0.65	0.41	0.67	0.02	***	***	***
C <sub>19:0</sub>	0.12	0.14	0.10	0.12	0.01	***	***	NS
C <sub>20:0</sub>	0.12	0.23	0.11	0.24	0.01	NS	***	NS
c5-C <sub>20:4</sub>	0.16	0.12	0.13	0.09	0.01	NS	***	NS
c13-C <sub>22:1</sub>	ND	ND	0.02	0.09	0.01	***	***	***
c5-C <sub>24:1</sub>	0.07	0.04	0.06	0.04	0.01	NS	**	NS
Unidentified FA	2.23	2.47	2.01	2.65	0.05	NS	***	***
c9-C <sub>18:1</sub> /C <sub>18:0</sub>	2.30	1.92	2.14	1.74	0.05	*	***	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub> /t11-C <sub>18:1</sub>	0.47	0.40	0.43	0.35	0.01	**	***	NS

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 8$  per group). ND = not detected.

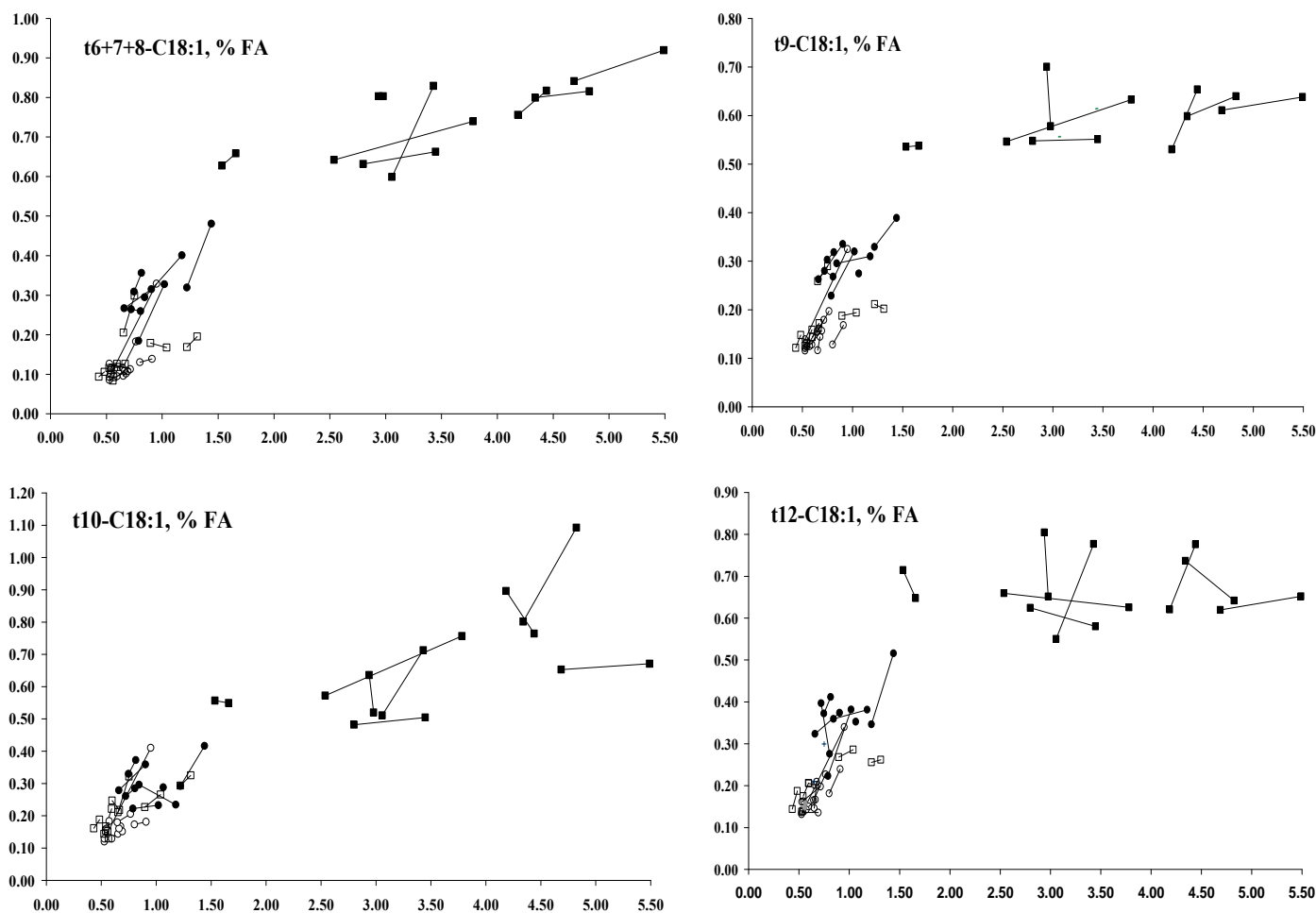
<sup>2</sup>C: effect of percentage of concentrate; RCS: effect of rolled canola seeds; C x RCS: interaction between percentage of concentrate and rolled canola seeds. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

Figure 2 presents the within-goat relationship between proportion of c9,t11-C18:2 and t11-C18:1 in milk fat, which was fitted to the model:

$c9,t11-C18:2 = 0.078 (\pm 0.020) + 0.322 (\pm 0.015) * t11-C18:1$ ; number of goats = 32, number of observations = 64, RMSE = 0.007 % of total FA. When all diets were considered, there was a 10-fold range and a 5 to 6-fold range in the proportion of t11-C18:1 and c9,t11-C18:2, respectively. Goats fed CS20 combined with high-concentrate diet had the greatest variability in the proportion of t11-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk fat (Fig. 2). The variation in the proportion of t11-C18:1 was related to the variation of all other *trans*-C18:1 isomers (Fig. 3). A curvilinear relationship between the t11-C18:1 and other *trans*-C18:1 was observed, with a plateau for t6+7+8-C18:1 and for t12-C18:2, whereas a linear relationship was obtained between the proportion of t10-C18:1 and that of t11-C18:1.



**Figure 2.** Within-goat relationship between the percentage of t11-C18:1 (TVA) and c9,t11-C18:2 FA in milk fat from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds.



**Figure 3.** Within-goat relationship between the percentage of identified *trans*-C18:1 and t11-C18:1 in milk fat from dairy goats fed low- (●, ○) or high- (■, □) concentrate diets combined with (●, ■) or without (○, □) rolled canola seeds.

## 2.1.4. Discussion

### - DMI, NEL intake, milk yield and composition

Due to difference in  $NE_L$  value of their diets, goats fed the H diets had higher  $NE_L$  intake (880 Kcal/d) than those fed the L diets, and they produced 17% more FCM (+0.6 kg/day). They also had a more positive  $NE_L$  balance, consistently with their lower plasma NEFA. Feeding CS20 did not modify the DMI,  $NE_L$  intake or  $NE_L$  balance, as observed in cows fed ground canola seeds (Collomb et al., 2004a). Fat corrected milk was increased only in goats fed CS20 combined with high-concentrate diet, in line with our previous results obtained with goats fed extruded soybeans in TMR with a C/F ratio 70:30 (Schmidely et al.,

2005). This is in contrast of results in goats (Chilliard et al., 2003) that reported no increase in FCM for goats fed fat supplements, though a high variability of response was observed.

Feeding high-concentrate diets generally induces low milk fat content in cows and goats (Bauman and Griinari, 2001, Sauvant and Morand-Fehr, 2000). From the relation between milk fat content and percentage of concentrate calculated in goats (Schmidely and Sauvant, 2001), a decrease of 1.2 g/L in milk fat content could be anticipated between goats fed the H and those fed the L diets, that matched rather well with the actual difference (1.9 g/L) when no CS was fed; however, this value was probably too low to be statistically significant in our trial. When goats were fed the combination of CS20 with high-concentrate diet, milk fat content was dramatically increased, which confirms that reversion of fat to protein ratio observed in goats fed high C/F ratio (Sauvant and Morand-Fehr, 2000) may be prevented by feeding oilseeds (Schmidely et al., 2005). The difference in milk fat content between H-CS0 and H-CS20 diet was 6.3 g/L (5.5 g/kg milk), in line with data in goats fed extruded soybeans (5.7 g/kg, Schmidely et al., 2005), oleic sunflower oil (7.4 g/kg, Bernard et al., 2005b) or canola oil (9.2 g/kg, Mir et al., 1999). Positive effect of feeding CS20 combined with high-concentrate diet on milk fat/protein ratio was also obtained because milk protein content and protein yield were not reduced, in agreement with previous observations in goats (Chilliard et al., 2003, Schmidely et al., 2005).

#### *- Ruminal fermentation*

Ruminal characteristics of goats fed the H diets were qualitatively typical of those observed with high-concentrate diets: acetate decreased by 3%, and propionate increased by 3%, with a 18% decreased A/P ratio. However, the reduced A/P ratio was lower than the 34% decrease observed during milk fat depression induced in goats fed an all-concentrate diet (Calderon et al., 1984). Feeding CS20 did not modify ruminal pH or VFA, but propionate increased, butyrate and iso-butyrate decreased, as previously observed in goats fed extruded soybeans (Schmidely et al., 2005).

#### *- Milk fatty acid profile*

##### *Trans-C18:1 fatty acids and c9,t11-C18:2*

In our study, feeding the H diets moderately increased total *trans*-C18:1 in milk fat and each *trans*-C18:1 isomer, as reported in goats fed diets with a high C/F ratio (Calderon et

al., 1984, Ledoux et al., 2002). All *trans*-C18:1 FA isomers and particularly t11-C18:1 were also increased in milk fat by feeding CS20 as observed in cows (Collomb et al., 2004a, Chichlowski et al., 2005). However, combination of CS with high-concentrate diet was needed to increase dramatically total *trans*-FA: the proportion of total *trans*-FA increased 10% in goats fed the L-CS20 diet, and 180% in those fed the H-CS20 diet in line with data in cows and goats fed high-concentrate diets combined with different lipid supplementation (Schmidely et al., 2002, Peterson et al., 2003, Chilliard and Ferlay, 2004, Loor et al., 2005a). Simultaneously, the highest proportion of each *trans*-FA isomer in milk fat was obtained in goats fed CS combined with high-concentrate diet as observed in goats (Bernard et al., 2005b) and in cows (Piperova et al., 2000, Peterson et al., 2003, Loor et al., 2005a).

*Trans*-C18:1 FA are produced during incomplete biohydrogenation of PUFA in the rumen and, under most dietary conditions, t11-C18:1 is the predominant isomer (Piperova et al., 2002). However, increased t10-C18:1 production in the rumen has been reported with high-concentrate diet supplemented or not with PUFA (Piperova et al., 2002, Loor et al., 2004, Loor et al., 2005a) that has been attributed to alteration in fermentation pattern and bacterial populations. Indeed, high-concentrate diets promotes the growth of the bacterial strain *Megasphaera elsdenii* with c9,t10 isomerase activity resulting in t10-C18:1 production, at the expense of *Butyrivibrio fibrisolvens* with c9,t11 isomerase activity (Klieve et al., 2003) resulting in t11-C18:1 production.

However, combination of CS with high-concentrate diet increased more dramatically the proportion of t6+t7+t8-C18:1 and t11-C18:1 in milk fat than that of other *trans*-C18:1. Consequently, t11-C18:1 remained the most important isomer and t10-C18:1 represented always less than 33% of t11-C18:1, contrarily to data reporting similar or eventually higher proportion of t10-C18:1 than t11-C18:1 in milk fat of cows fed a high-concentrate diet with vegetable oils (Piperova et al., 2000; Peterson et al., 2003, Loor et al., 2005a). The discrepancy between these studies and our data may be due to the use of oilseeds rather than free oils, as less efficient ruminal FA biohydrogenation has been suggested when oil is free rather than part of the seed (Chilliard and Ferlay, 2004). In our study, rolling the canola seeds could have not been a sufficiently efficient process to make oil rapidly available to ruminal microorganisms, and/or quantity of added fat was not high enough to alter FA biohydrogenation. Focusing on t10-C18:1 proportion in milk fat is important because it has been associated to milk fat depression in dairy cows (Piperova et al., 2000, 2002, Loor et al., 2005a). Proportion of t10-C18:1 (0.68% of milk FA) in milk from goats fed CS20 combined with high-concentrate diet was lower than that observed in cows during milk fat depression



(2.8 to 9.23% of milk FA, Piperova et al. 2000, Peterson et al., 2003, Loor et al., 2005a). However, this do not explain the lack of reduction in milk fat content in our study, because no change in milk fat content was observed in goats fed vegetable oils despite an increase in t10-C18:1 (Chilliard et al., 2003), which suggests differences for FA metabolism in mammary gland between goats and cows.

Average proportion of c9,t11-C18:2 varied between 0.3 and 1.20% of milk FA, with maximal individual values of 1.5%. Chilliard et al. (2003) reported c9,t11-C18:2 ranged 0.3 to 3.3% of FA in milk fat of goats fed different dietary treatments. Effect of percentage of concentrate on c9,t11-C18:2 in goat milk is poorly documented (Schmidely and Sauvant, 2001), whereas cows fed high-concentrate diets had moderately higher c9,t11-C18:2 in milk (Piperova et al., 2002, Peterson et al., 2003, Loor et al., 2005a). In our study, milk c9,t11-C18:2 increased with CS as observed in cows (Collomb et al., 2004a, Chichlowski et al., 2005) and the highest proportion of c9,t11-C18:2 was obtained in goats fed the combination of CS20 with high-concentrate diet as reported in cows (Loor et al., 2005a). A three-fold increase in total CLA in goat milk was also observed with canola oil (Mir et al, 1999), but a lower increase was obtained with extruded seeds (Schmidely et al., 2002, Chilliard et al., 2003).

Proportion of c9,t11-C18:2 increased linearly 0.32% for each 1% increase in t11-C18:1, close to 0.30 reported in cows (Peterson et al., 2002), but lower than 0.40 reported in 38 groups of goats (Chilliard et al., 2003). Differences in mathematical approach (within-goat rather between-group regression) and/or a lower variation of t11-C18:1 and c9,t11-C18:2 in our trial than in those of Chilliard et al. (2003) may explain that difference. The ordinate of the relation was 0.078%, indicating that 6% (H-CS20 diet) to 25% (L-CS0 diet) of milk c9,t11-C18:2 originated from ruminal FA biohydrogenation, as reported in cows (Bauman et al., 2001). Indeed, c9,t11-C18:2 is mainly produced by desaturation of t11-C18:1 via mammary  $\Delta^9$  desaturase (Bauman et al., 2001) and c9,t11-C18:2/ t11-C18:1 ratio represents a desaturase index that serves as a proxy for  $\Delta^9$  desaturase activity. In our study, goats fed the combination of CS20 with high-concentrate diet had the lowest desaturase index in milk fat, with 24% reduction in c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio relatively to the L-CS0 diet. This suggests that  $\Delta^9$  desaturase was exceeded by a high availability of t11-C18:1 and/or other intermediates of FA biohydrogenation inhibited its activity. For instance, high doses of t10,c12-C18:2 infused abomasally have been shown to inhibit  $\Delta^9$  desaturase activity in cows (Baumgard et al., 2000), but no t10,c12-C18:2 was detected in milk fat in our study.

Individual variation of proportion of each *trans*-C18:1 FA isomer and c9,t11-C18:2 in response to dietary treatments has been rarely explored, and when investigated, this was done without monitoring of feed intake (Peterson et al., 2002a, Kelsey et al., 2003). In our study, calculated daily intakes of c9-C18:1 and c9,c12-C18:2 were related to proportion of each *trans*-C18:1 isomer or c9,t11-C18:2 in milk fat on a group basis. The variation in the proportion of each *trans*-C18:1 isomer was particularly high in goats fed CS20 combined with high-concentrate diets. Similar individual differences have been attributed to breed, parity and stage of lactation in cows (Kelsey et al., 2003). In our study, goats had approximately similar DIM, and effect of breed was not evaluated because of the low number of goats of each breed within each group. Possibly, between-goats differences in *trans*-C18:1 profile may be related to individual characteristics of ruminal fermentation: indeed, *trans*-C18:1 isomers in milk were positively correlated, which indicates this high variability in milk arises partly from individual variation in ruminal biohydrogenation. Moreover, proportion of t11-C18:1 in milk fat did not only reflect its ruminal production, but also  $\Delta^9$  desaturase activity to produce c9,t11-C18:2. Individual variation of  $\Delta^9$  desaturase activity studied by variation of the ratio of c9,t11-C18:2/ t11-C18:1 or by the standard deviation of the slope of the regression between c9,t11-C18:2 and t11-C18:1 was high in our study, in line with data in cows reporting large variation in c9,t11-C18:2 among cows fed similar diets (Peterson et al., 2002, Kelsey et al., 2003).

#### Linoleic and linolenic acids

Linoleic acid decreased and linolenic acid increased in milk fat of goats fed CS20, but the variations were low. This reflected on one hand the small difference in the intake of these FA between CS0 and CS20 groups, and on the other hand their high ruminal biohydrogenation. Accordingly, their proportions in milk fat were not altered in goats fed canola oil (Mir et al., 1999) or oleic sunflower oil (Bernard et al., 2005b), but they increased slightly in goats fed unprotected canola seeds (Gulati et al., 1997). The numerical increase in c9,c12,c15-C18:3 and the decrease in c9,c12-C18:2 in milk of goats fed the H-CS20 diet is interesting for human health, as an imbalance in the ratio of these two FA could increase the risk of cardio-vascular diseases and some cancers (Williams, 2000).

#### Medium-chain saturated fatty acids (MCSFA)

Goats fed CS20 combined with high-concentrate diet had the lowest proportion of MCSFA in milk fat, with 17% less MCSFA in milk fat from goats fed the H-CS20 diet than

those fed the L-CS0 diet. Similarly, a 20% decrease in MCSFA was reported in goats fed oleic sunflower oil (Bernard et al., 2005b). However, this is lower than the 30% to 60% decrease reported in cows fed different milk fat-depressing diets (Piperova et al., 2000, Loor et al., 2005a). In cows, lower proportion of MCSFA with milk fat-depressing diet has been related to lowered acetyl-CoA carboxylase mRNA abundance and activity, and to lowered FA synthetase activity in mammary gland (Piperova et al., 2000). Conversely, goats fed vegetable lipids exhibited no decrease in milk fat content and they had low changes in proportion of MCSFA (our study, and Bernard et al., 2005b) and no decrease in mRNA or activity of Acetyl-CoA Carboxylase or FA synthetase. Moreover, the low decrease in MCSFA in milk fat from goats fed CS20 was probably compensated by an increase in c9-C18:1 (despite lower  $\Delta^9$  desaturase activity, see above), whereas cows fed vegetable lipids had lower c9-C18:1 (Piperova et al., 2000, Loor et al., 2005a). This difference between cows and goats on the reciprocal change in medium-chain FA and c9-C18:1 in response to vegetable lipids may partly explain the lack of decrease in milk fat content in goats, though differences between trials could also be attributed to the degree of desaturation of used lipids.

### 2.1.5. Conclusions

Feeding a high-concentrate diet combined with CS increased milk production and milk fat yield without change in milk protein content in mid-lactation dairy goats, which may prevent low milk fat syndrome associated with high concentrate diet. This combination increased the proportion of *trans*-C18:1 FA, linolenic acid and rumenic acid in milk fat at the expense of medium-chain saturated FA. Increase in milk CLA and t11-C18:1, as well as decrease in medium-chain saturated FA are considered favorable to human health, but these modifications were accompanied with higher proportions of other *trans*-C18:1 that have been implicated in cardiovascular diseases. These results also confirm differences between cows and goats for the response to high concentrate diets with vegetable fat.

### Acknowledgments

J. Tessier and his team, and H. Albarello are gratefully acknowledged in obtaining research data on goats and in FA analysis, respectively.

## 2.2. Expérimentation 2 (Article 2)

Milk performance and milk fatty acid composition of dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with soybeans or canola seed supplementation.  
(*article en préparation*)

### Abstract

The objective of this trial was to study the effects of diets with low (L, 45 % diet DM) or high (H, 65 % diet DM) percentage of concentrate combined with the addition of extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS) on the performance of dairy goats and milk fatty acid (FA) composition. Twenty-four goats were used in a 8-wk trial with the first 2 wk for the adaptation to the experimental diet. Individual milk production and gross composition were recorded weekly and milk FA was analyzed in the middle and at the end of the trial. The DMI was similar among groups, but total FA intake was higher in H-CS group. The dietary treatments did not affect the milk yield, the contents and yields of fat and protein, the yield of lactose and the contents of urea; however feeding H-CS diet increased the content of lactose. The dietary treatments did not affect the proportion of FA from C4:0 to C10:0 in milk fat. Feeding H rations increased the percentage of *trans*-C18:1 (t6+7+8 and t9 to t12-C18:1), c9,c12-C18:2 and c9,t11-C18:2 at the expense of C14:0, c9,c12,c15-C18:3 and the iso and ante-iso FA. Feeding CS increased the C18:0 and total *trans*-C18:1 whereas SB raised the C16:0 and c9,c12-C18:2. The milk from H-CS group was the richest in *trans* FA, but the extent of the response of the *trans* FA was slightly different according to the isomer: it was higher for t6+7+8-C18:1 than for t11-C18:1. Feeding high concentrate diets combined with dietary fat can be used to modify the FA profile in goat milk, without any negative effect on milk yield and milk fat or protein contents. Their effects may be complementary, at least for *trans*-FA. Moreover, the profile of *trans* isomer relative to total *trans*-C18:1 seems dependent on the source of dietary fat.

*Keywords:* milk fatty acids, soybean, canola seed, goat

### 2.2.1. Introduction

The incorporation of oilseeds in the diet of ruminants is one mean to modify the production and composition of milk fatty acids (FA). The magnitude of the modifications may be extensive, depending on the source, nature (oil vs. seed), dose, and treatments applied to the lipid source (Kennelly, 1996b, Chouinard et al., 2001). Feeding Ca-salts of canola oil or soybean oil decreases the milk fat content (MFC) and increases the proportions of the long-chain FA, especially C18:0 and C18:1 at the expense of the short and medium-chain FA (Chouinard et al., 1998), as generally observed in the milk fat of dairy cows fed rations supplemented with fat. However, these oilseeds differently alter the profile of the isomers of C18:1 and C18:2 (Loor and Herbein, 2003a). Feeding both canola oil or soybean oil increase the proportions of t11-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk when compared to non-supplemented animals, but the results obtained with soybean oil are more marked, whereas canola oil raises the proportion of c9-C18:1 (Chouinard et al. 2001, Loor and Herbein, 2003a). The increase in the contents of c9,t11-C18:2 may improve milk healthy effects because of the anti-carcinogenic properties of this FA (Willians et al., 2000).

Feeding dairy cows with high-concentrate rations also modifies milk composition, increasing the contents of *trans*-FA, especially of t10-C18:1 and c9,t11-C18:2 (Griinari et al., 1998; Peterson et al., 2003) and sometimes of t10,c12-C18:2 (Peterson et al., 2003). Moreover, the combination of high-concentrate diets and dietary fat has a synergistic effect on the contents of *trans* isomers and this effect may depend on the source of fat. Griinari et al. (1998) observed a greater reduction in the contents of t11-C18:1 and a higher increase in the contents of t10-C18:1 and c9,t11-C18:2 when corn oil was added to a 80 %-concentrate diet rather than to a 50 %-concentrate diet. However, Loor et al. (2005a) did not observe an effect of the interaction between the percentage of concentrate and the addition of linseed oil on the proportion of total *trans*-C18:1, but the proportion of t10-C18:1 and t11-C18:1 were increased in the milk of cows fed a high-concentrate diet supplemented in linseed oil. Some of the *trans*-FA produced in the rumen during biohydrogenation of poly-unsaturated FA (PUFA), mainly t10,c12-C18:2 and also t10-C18:1 are involved in the depression of MFC in dairy cows (Baumgard et al., 2000, Peterson et al., 2003).

In dairy goats, feeding high-concentrate diets (Ledoux et al., 2002) or diets supplemented with canola or soybeans increases the percentage of total *trans*-C18:1 (t10-C18:1 and t11-C18:1), and c9,t11-C18:2 (Mir at al., 1999, Schmidely et al., 2002, Chilliard et al., 2003). However, contrary to dairy cows, feeding dairy goats fat supplemented diets did

not depress the MFC, even when the percentage of t10-C18:1 is increased (Chilliard et al., 2003).

Direct comparisons between the influence of canola seeds and soybeans in the composition of the milk FA, especially on the profile of *trans*-C18:1 were rarely made. Thus, we investigated the effect of the percentage of concentrate (45 vs. 65 % DM basis) combined with the source of dietary fat (soybeans vs. canola seeds) on dairy performance and FA composition of milk from dairy goats.

## 2.2.2. Materials and methods

### - *Goats and diets*

Twenty-four multiparous dairy goats ( $67 \pm 9$  kg), 8 of them with ruminal and duodenal cannulas, were used in this study. They were allotted to 4 groups based on the milk production and the MFC. Before the trial, the goats were straw bedded and fed a basal total mixed ration (TMR, 80% forage and 20% concentrate in a DM basis). At  $44 \pm 6$  DIM, they were placed in metabolic crates with wooden floor and were switched to their experimental diet. The goats were milked at 0700 and 1600 h.

The goats were used in a 2 x 2 factorial arrangement constituted by a combination of the percentage of concentrate (Low vs. High) and the addition of extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS). The low (L) diet had 45% and the high (H) diet had 65% of concentrate in the TMR (DM basis). In order to have concentrates with the same protein and energy content, the amount of oilseed added (concentrate DM basis) were higher for SB (27%) than for CS (20%). The 4 TMR (Table 1) were formulated using the NEL (Net Energy for Lactation) and PDI (Digestible Protein in the Intestine) feeding systems (INRA, 1989) to meet or exceed the requirements of goats producing 4 kg milk and consuming 3 kg DM daily. The experimental period lasted 8 wk. The first 2 wk corresponded to the adaptation to the experimental diet; during the 1<sup>st</sup> wk the percentage of concentrate was progressively increased to reach 45 or 65 % of TMR, and during the 2<sup>nd</sup> wk the oilseeds were introduced. Diets were fed twice daily in equal amounts (0800 and 1700 h) and they were distributed in order to provide 5-10 % orts. Water and a trace-mineralized salt block were always available.

**Table 1:** Ingredients of the low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS).

Percentage of concentrate Fat supplementation	LOW		HIGH	
	SB	CS	SB	CS
Ingredients	% of dry matter			
Dehydrated alfalfa	35.3	35.3	22.0	22.0
Grass hay	17.7	17.7	11.0	11.0
Beet pulp	30.0	30.0	25.0	25.0
Barley	4.8	6.0	12.8	16.0
Corn	4.5	2.2	12.0	6.0
Soybean meal	1.4	3.3	3.2	8.8
Canola seed rolled	0.0	3.0	0.0	8.0
Soybeans extruded	4.0	0.0	10.8	0.0
Beet molasses	0.4	0.4	1.2	1.2
Minerals and vitamins	1.0	1.0	1.0	1.0
Sodium bicarbonate	1.0	1.0	1.0	1.0

#### - Sampling and Analysis

Goats were weighed weekly always on the same time. Feed intake and refusals were recorded daily and DM was measured every 15 days. Two diet samples were collected during the trial (wk 5 and 8). One aliquot of each sample was immediately stored at -20°C and lately lyophilized (72 h) and ground (1 mm) for total lipid determination and FA analysis according to Folch et al. (1957). The other aliquot was dried in a force-air oven at 90°C, then ground and stored at room temperature until determination of the NDF and ADF according to Van Soest et al. (1991) and crude protein (CP) with a micro-Kjeldahl.

During the trial, the individual milk production (RMY) was recorded every week, during 2 consecutive days. Milk fat, protein and SCC were determined weekly, starting after the adaptation period (wk 3). Milk lactose and urea were determined from wk 5 to the end of the trial. Individual samples (30 mL) for the determination of milk composition were collected from two consecutive a.m. and p.m. milkings, mixed with a preservative (bronopol) and stored at 4°C until analysis by infra-red (Milkoscan; Foss Electric, Hillerød, Denmark). A second aliquot (30 mL) of milk without preservative was collected at wk 5 and 8 and frozen (-18°C) for determination of the FA profile of milk fat.

Milk FA were extracted twice from 1 mL of milk with ethanol/12 N HCl/hexane (0.4/0.1/7 mL) and then 7 mL hexane. After filtration, the solution was evaporated. The FA were solubilized in 2 mL hexane and then evaporated. Hexane was then added to obtain a concentration of 10 to 14 mg FA/mL hexane and 1 mL of internal standard solution (tricosanoic acid, C23:0, 0.5 mg/mL) was added to 1 mL of the solution. The FA were methylated at room temperature with a methanolic boron trifluoride solution (14%, wt/vol). Methyl esters of FA were then recuperated in hexane.

Samples of 1 µL hexane containing methyl-esters from milk or feed samples were injected by an auto sampler into a Varian Chromopack CP 3800 gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (Varian SA, Les Ulis, France). Methyl esters were separated on a 100 m x 0.25mm i.d. fused silica capillary column (CP-Sil 88, Interchim, Montluçon, France). The carrier gas was ultra pure helium with a flow of 1 ml/min. Injector and detector temperatures were maintained at 250°C. The split ratio in the injector was 20:1. The initial oven temperature was 50°C (for 1 min), increased 10°C/min to 170°C (held for 78 min) and increased 5°C/min to 220°C (held for 15 min). Individual FA were identified by comparison of retention time to those of pure standards (Supelco Inc, Bellefonte, USA).

#### *- Statistical Analysis*

Data were analyzed using the MIXED procedure of SAS for repeated measurements. Fixed effects were the percentage of concentrate, the nature of fat addition and the time. Random effect of goat was used as the error term. First autoregressive [AR(1)] was used as variance-covariance structure. Significance was declared at  $P < 0.05$ .

### **2.2.3. Results**

#### *- Diet composition*

The H diets had lower contents of NDF and ADF than the L diets (Table 2). Experimental diets having the same percentage of concentrate were formulated to be iso-nitrogenous and have similar energetic content (L-SB: 1509 et L-CS: 1519 vs H-SB: 1694 et H-CS: 1721 kcal/kg DM). CS addition to the H diet increased the total FA content when



compared to the H-SB ration. As expected, the major FA in the diets was the c9,c12-C18:2 when SB was added and the c9-C18:1 when CS was added.

**Table 2:** Chemical composition and fatty acid profile of the low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate	LOW		HIGH		sd	P values of effects <sup>2</sup>			
	SB	CS	SB	CS		C	F	C x F	
Chemical composition	% of dry matter								
Total fatty acids	2.4	2.2	3.3	4.5	0.14	***	+	*	
CP	11.8	11.2	13.3	13.7	0.27	**	NS	NS	
NDF	50.5	52.0	41.0	43.4	0.51	***	*	NS	
ADF	29.9	30.5	23.9	25.6	0.04	***	***	***	
Fatty acid profile	% of total FA								
C <sub>16:0</sub>	17.62	14.89	15.39	9.24	0.77	*	*	NS	
C <sub>18:0</sub>	3.46	2.23	3.61	1.83	0.12	NS	***	NS	
c9-C <sub>18:1</sub>	15.73	33.00	18.12	45.02	0.46	***	***	**	
c11-C <sub>18:1</sub>	1.25	2.33	1.16	3.29	0.07	**	***	**	
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	39.26	25.39	47.75	26.04	0.19	***	***	***	
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	14.22	14.51	9.36	10.00	0.33	***	NS	NS	

<sup>1</sup>Data presented are least square means (n = 2 samples per diet).

<sup>2</sup>C: effect of the percentage of concentrate; F: effect of the source of fat; C x F: interaction between percentage of concentrate and the source of fat. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

#### - Intake, milk yield and composition

The DMI was not significantly affected by the dietary factors and it was relatively constant (effect of wk:  $P > 0.05$ ) during the trial (data not show). The intake of NEL were increased by H diets and CS addition. The RMY, the fat corrected milk yield, the contents and yields of fat and protein, the yield of lactose, the contents of urea and SCC were similar ( $P > 0.05$ ) among groups (Table 3). Milk protein content tended to be higher in SB than in CS groups. The highest value of lactose content was observed in the H-CS group.

**Table 3:** Production parameters of dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	LOW		HIGH		SE	P values of effects <sup>2</sup>		
	SB	CS	SB	CS		C	F	C x F
DMI, kg/d	2.8	2.9	2.6	2.8	0.5	NS	NS	NS
NEL intake, kcal/d	4170	4431	4441	4818	115	*	*	NS
Milk yield, kg/d	3.8	3.8	3.7	3.9	0.1	NS	NS	NS
FCM, kg/d	4.0	4.0	4.1	4.2	1.2	NS	NS	NS
Milk fat, g/kg	37.1	37.0	38.3	38.2	5.3	NS	NS	NS
Milk protein, g/kg	33.1	32.6	33.9	32.4	2.3	NS	+	NS
Milk lactose, g/kg	47.9	46.9	44.3	48.2	2.5	NS	NS	*
Fat yield, g/d	135	138	142	155	44	NS	NS	NS
Protein yield, g/d	120	121	126	132	34	NS	NS	NS
Lactose yield, g/d	172	172	168	185	53	NS	NS	NS
Milk urea, g/kg	0.57	0.62	0.59	0.65	0.10	NS	NS	NS
NEL balance, kcal/d	-133	162	9.2	428	110	**	+	NS
SCC, 10 <sup>3</sup> /mL	917	1255	3436	662	2322	NS	NS	NS

<sup>1</sup>Data presented are least square means (n = 6 goats per group).

<sup>2</sup>C: effect of the percentage of concentrate; F: effect of the source of fat; C x F: interaction between percentage of concentrate and the source of fat. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

#### - Milk fatty acid profile

Milk FA profile is presented in Table 4. The percentages of short-chain FA (C4:0 to C8:0) were similar among groups. Feeding H diets reduced the contents of medium-chain saturated FA (C10:0 to C14:0), odd- and branched-chain FA, and increased the proportions of all FA with 18 C units (effect of C:  $P < 0.05$ ), excepting c11-C18:1 and t9,t12-C18:2. The contents of all identified *trans*-C18:1 isomers were greater in the milk from H-groups (Table 5) than in L-groups, but the percentage of concentrate had no effect on the profile of *trans* isomers as a percentage of total *trans*-C18:1, excepting for the t12. H diets also increased the content of c9,t11-C18:2 (+42%), but no t10,c12-C18:2 was detected in any milk sample.

**Table 4:** Fatty acid profile of milk fat from dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	LOW		HIGH		SE	P values of effects <sup>2</sup>			
	SB	CS	SB	CS		C	F	C x F	
Fatty acid	% total fatty acids								
C <sub>4:0</sub>	1.76	1.53	1.46	1.70	0.35	NS	NS	*	
C <sub>6:0</sub>	2.37	2.07	2.00	2.12	0.36	NS	NS	+	
C <sub>8:0</sub>	3.16	2.83	2.78	2.75	0.47	NS	NS	NS	
C <sub>10:0</sub>	11.11	10.86	10.38	9.71	1.46	+	NS	NS	
C <sub>11:0</sub>	0.32	0.26	0.28	0.24	0.05	NS	**	NS	
C <sub>12:0</sub>	5.08	4.84	4.55	4.06	0.68	**	NS	NS	
C <sub>13:0</sub>	0.16	0.16	0.14	0.11	0.03	**	*	NS	
C <sub>14:0</sub>	11.87	12.27	10.77	10.68	0.70	***	NS	NS	
iso C <sub>14:0</sub>	0.15	0.16	0.08	0.09	0.03	***	NS	NS	
c9-C <sub>14:1</sub>	0.13	0.10	0.12	0.10	0.03	+	+	NS	
C <sub>15:0</sub>	1.42	1.42	0.92	0.95	0.10	***	NS	NS	
ante-iso C <sub>15:0</sub>	0.47	0.44	0.28	0.29	0.08	***	NS	NS	
C <sub>16:0</sub>	28.02	26.94	28.88	25.75	2.27	NS	**	NS	
iso C <sub>16:0</sub>	0.39	0.40	0.26	0.28	0.05	***	NS	NS	
c9-C <sub>16:1</sub>	0.68	0.56	0.53	0.53	0.12	*	NS	NS	
C <sub>17:0</sub>	0.96	0.89	0.74	0.66	0.10	***	*	NS	
ante-iso C <sub>17:0</sub>	0.50	0.46	0.35	0.36	0.05	***	NS	NS	
C <sub>18:0</sub>	7.24	9.31	9.09	10.76	1.48	**	***	NS	
c6-C <sub>18:1</sub>	0.23	0.29	0.31	0.42	0.07	***	***	NS	
c9-C <sub>18:1</sub>	15.71	16.11	16.59	18.67	2.25	*	NS	NS	
c11-C <sub>18:1</sub>	0.54	0.56	0.50	0.63	0.12	NS	+	NS	
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	1.29	1.50	1.73	2.87	0.46	***	**	NS	
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	2.53	1.95	3.28	2.01	0.27	***	***	***	
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0.12	0.15	0.18	0.17	0.08	NS	NS	NS	
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.26	0.21	0.33	0.42	0.10	**	NS	+	
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	0.12	0.14	0.12	0.13	0.02	**	NS	NS	
C <sub>19:0</sub>	0.51	0.53	0.45	0.41	0.10	NS	***	*	
C <sub>20:0</sub>	0.08	0.14	0.11	0.12	0.03	NS	**	NS	
C <sub>20:4</sub>	0.09	0.10	0.12	0.09	0.05	NS	+	NS	
Unidentified FA	2.73	2.85	2.68	2.97	0.38	NS	+	NS	
c9-C <sub>18:1</sub> /C <sub>18:0</sub>	2.18	1.76	1.88	1.76	0.30	NS	*	NS	
c9t11-C <sub>18:2</sub> /t11-C <sub>18:1</sub>	0.39	0.31	0.38	0.31	0.06	NS	***	NS	

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 6$  goats per group)

<sup>2</sup>C: effect of the percentage of concentrate; F: effect of the source of fat; C x F: interaction between percentage of concentrate and the source of fat. \*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ , †:  $P < 0.10$ .

Even though the percentage of C11:0, C13:0 and C16:0 were higher ( $P<0.05$ ) in milk fat from goats fed SB than CS diets, the effect of the lipid source was greatest on the content and profile of longer chain FA. Feeding CS diets increased the contents of C18:0 and *trans*-C18:1 whereas SB diets increased the c9,c12-C18:2. The c9-C18:1 and c9,t11-C18:2 contents were not significantly altered by the fat source, however the c9-C18:1/C18:0 ratio and the c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio were respectively 15% and 25% smaller in the milk of goats fed the CS diets in comparison with SB groups. The goats fed the CS diets had a higher proportion of t6+7+8-C18:1 and t9-C18:1 relative to total *trans*-FA in milk fat (Table 5) whereas the SB increased the proportion of t11-C18:1. The effect of the interaction CxF on each isomer of the C18:1 (excepting c11) was significant ( $P<0.05$ ) or tended to be ( $P<0.10$ ), and the milk from goats fed the H-CS diets had the highest values. The content of c9,t11-C18:2 was also significantly affected by the interaction CxF. The milk from goats fed L-SB and H-SB had the same content of c9,t11-C18:2, however CS addition to the H diets increased the percentage of this FA when compared to the L-CS group.

**Table 5:** *Trans*-C18:1 profile of milk fat from dairy goats fed low or high concentrate diets supplemented with extruded soybeans (SB) or rolled canola seed (CS)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	LOW		HIGH		SE	P values of effects <sup>2</sup>		
	SB	CS	SB	CS		C	F	C x F
	% total fatty acids							
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0.12	0.18	0.16	0.36	0.06	***	***	**
t9-C <sub>18:1</sub>	0.15	0.19	0.21	0.36	0.05	***	***	**
t10-C <sub>18:1</sub>	0.17	0.21	0.22	0.40	0.07	***	***	**
t11-C <sub>18:1</sub>	0.68	0.68	0.85	1.33	0.25	***	*	*
t12-C <sub>18:1</sub>	0.17	0.24	0.29	0.43	0.07	***	***	NS
	% total <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>							
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	8.86	11.73	9.25	12.50	1.27	NS	***	NS
t9-C <sub>18:1</sub>	11.65	13.03	11.90	13.07	1.34	NS	**	NS
t10-C <sub>18:1</sub>	13.56	13.81	12.83	14.07	1.75	NS	NS	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	52.67	45.39	49.74	44.78	3.86	NS	***	NS
t12-C <sub>18:1</sub>	13.25	16.03	16.28	15.58	1.56	*	+	**

<sup>1</sup>Data presented are least square means ( $n = 6$  goats per group).

<sup>2</sup>C: effect of the percentage of concentrate; F: effect of the source of fat; C x F: interaction between percentage of concentrate and the source of fat. \*\*\*:  $P<0.001$ , \*\*:  $P<0.01$ , \*:  $P<0.05$ , †:  $P<0.10$ .

The calculated transfer efficiency of c9,c12-C18:2 and c9,c12,c15-C18:3 from diet to milk, estimated for each FA as the ratio between its secretion in milk and its intake was not

affected by the percentage of concentrate but it was higher when feeding SB: 17.4% SB vs. 14.3% CS for c9,c12-C18:2 and 8.3% SB vs. 6.9% CS for c9,c12,c15-C18:3. The H-CS group presented the lowest values (10.2% and 5.3% for c9,c12-C18:2 and c9,c12,c15-C18:3, respectively).

#### **2.2.4. Discussion**

##### *- Intake and dairy performance*

The two concentrates used in this study were formulated to be iso-nitrogenous, but because of the higher content of fat of the canola seed (canola: 42% vs soybean: 18% - Sauvante et al., 2002), the CS concentrate was richer in total FA than the SB concentrate. The L-CS and L-SB diets had the same FA content (Table 2); however H-CS had greater amounts of total FA than the others diets. Consequently, the goats fed the H-CS diet had higher intakes (total FA intake (g/j): 123 H-CS, 83 H-SB, 65 L-CS, 63 L-SB) of most individual FA (excluding C18:0) than the H-SB. These differences had no major consequences on the goats' performance: the DMI, the milk production, the contents and the production of fat and protein and the production of lactose were similar across all groups.

The percentage of concentrate or the source of the dietary fat had no effect on RMY, in agreement with data previously reported for goats by Abijaoudé et al (2000), Goetsch et al (2001) and Chilliard et al. (2003). Based on recent studies with dairy goats (Chilliard et al. 2003, Chilliard and Ferlay 2004, Bernard et al. 2005b), marked differences between groups in MFC and in milk protein were not anticipated. The depression in MFC caused by high concentrate diets can be minimized by the addition of bicarbonate to the rations (Kalscheur et al., 1997b, Schmidely et al, 2005) and, in contrast with observations in cows, lipid supplementation does not reduce the fat or the protein contents of goat milk (Chilliard et al. 2003, Chilliard and Ferlay, 2004). Actually, when compared to non-supplemented goats, the MFC increases with oilseed supplementation (Mir et al., 1998, Bernard et al, 2005b, Schmidely et al, 2005). However, few differences are observed between animals fed rations differing by the source of the oilseed (Chilliard et al., 2003, Bernard et al., 2005b).

##### *- Milk fatty acid profile*

Trans-C18:1 fatty acids and c9,t11-C18:2

Feeding H diets increased the contents of total *trans*-C18:1 in milk fat, which is consistent with data from the literature indicating that, both in goats (Calderon et al. 2004, Ledoux et al. 2002) and in cows (Jiang et al. 1991, Kalscheur et al. 1997b), feeding high concentrate diets increases the percentage of total *trans*-FA in milk fat. The content of total *trans*-C18:1 was 60% higher in milk from H-groups and it represented 2.24% of total FA (from 1.24 to 4.61%). Independently of the source of fat, the average value for total *trans*-C18:1 in H-groups was close to data obtained in dairy goats fed high concentrate diets without added fat (Ledoux et al., 2002) or with soybeans (Schmidely et al., 2002). However, it is lower than those obtained in goats fed vegetable oils (Chilliard et al. 2003, Bernard et al., 2005) because of the greater effect of lipids on the ruminal environment when fed as free oil rather than partially protected by the seed coat. Addition of CS, especially to the H-diets, increased total *trans*-C18:1 when compared to the SB diets (SB: 1.54% vs CS: 2.15% of total FA), but is probably related to the higher total FA content of the H-CS diet rather than to differences between the two oilseeds.

Milk from H groups had the highest content of all identified *trans*-C18:1 isomers, but only small differences in their proportions relative to total *trans*-FA (Table 5) were observed between the milk fat of H and L groups. This could be related to the addition of buffer that prevents greater modifications of the rumen environment (Kalscheur, 1997b). However, these data are in contrast with those obtained in dairy cows fed high concentrate diets that reported small modifications in the contents of t11-C18:1 and an increase in the contents of t10-C18:1, even when buffer was added (Piperova et al., 2002, Loor et al., 2005a, Shingfield et al. 2005). The differences between our study with dairy goats and these trials with dairy cows (Piperova et al., 2002, Loor et al., 2005a, Shingfield et al. 2005) could be partially explained by the contents of NDF and starch of the basal diet as the ratio of starch/NDF in the diet is positively related to the contents of t10-C18:1 in milk fat (Schingfield et al., 2005). Forage type also altered the profile of *trans* isomers (Ledoux et al., 2002, Chilliard and Ferlay, 2004, Schingfield et al., 2005) and may explain part of the differences between trials. In dairy goats, Ledoux et al. (2002) also observed an increase in the contents of t10-C18:1 when the animals were fed diets rich in concentrate.

The composition of the lipid source influence the profile of *trans* isomers produced in the rumen (Loor et al. 2002a), and, consequently, the transfer of this FA towards the mammary gland. Little information is available on the contents of the different isomers of *trans*-C18:1 and its variations in goat milk. In dairy cows, the comparison between canola and

soybean oil showed that the former increases the percentages of t6+7+8 and t9-C18:1 in milk fat, whereas soybean oil increases t10 and t11-C18:1 (Loor and Herbein, 2003a). Consistently, in comparison to sunflower seed (rich in linoleic acid), feeding ground rapeseed increased the contents of t6+7+8-C18:1 at the expense of t10+11-C18:1 (Collomb et al., 2004a). In our study, the CS addition increased all the identified *trans*-FA, but the magnitude of the increase was variable according to the isomer. Comparing to SB, feeding the CS diet increased up to 87% the content of t6+7+8-C18:1, whereas t11-C18:1 had a 27%-increase. Consequently, milk from CS groups had a higher proportion of t6+7+8 (and t9-C18:1) relative to total *trans*-C18:1 whereas feeding SB favored the t11-C18:1 (Table 5). This may indicate that the effect of the lipid source on the different pathways of the metabolism of PUFA is similar between goats and cows.

In the mammary gland, part of t11-C18:1 is desaturated in c9,t11-C18:2 by the  $\Delta^9$ -desaturase; this pathway is responsible for the majority of this CLA isomer in the milk fat, the remainder is of ruminal origin. The H rations increased the percentage of c9,t11-C18:1 but we observe no significant effect of the source of lipid on the contents of c9,t11-C18:2 in the milk, which is consistent with the small differences in the contents of t11-C18:1 between CS and SB. However, feeding CS diet reduced the c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio (as well as c9-C18:1/C18:0) used as a proxy for desaturase activity, indicating that CS diet reduced the activity of this enzyme when compared to SB diet. This higher inhibition of desaturase in CS groups is probably related to a higher flow of FA to the mammary gland and/or the increase in the contents of specific FA, mainly t10-C18:1. In dairy cows, it has been shown that the activity of this enzyme is inhibited by the t10,c12-C18:2 and t10-C18:1 (Baumgard et al., 2000, Loor and Herbein, 2003a). In this trial, the t10,c12-C18:2 was not detected, but in dairy goats, the t10-C18:1 may also have an inhibitory effect on the desaturase activity.

The values of c9,t11-C18:2 observed in this trial are lower than those obtained in dairy goats by Schmidely et al. (2002) with soybean and by Mir et al (1999) with canola oil supplementation. The use of vegetable oils is more effective than seeds in increasing the contents and production of c9,t11-C18:2, but differences between studies are also due to the amount of lipid added, the characteristics of the basal diet, and to the differences of response among animals. The interaction FxC tended to be significant ( $P < 0.10$ ) and the milk from H-CS group was the richest in c9,t11-C18:1 ( $0.48 \pm 0.28\%$  FA) and it also showed the strongest individual variation.

### Linoleic and linolenic acids

The contents of c9,c12-C18:2 were higher in the milk of goats fed H and SB diets when compared, respectively, to L and CS diets. Furthermore, the interaction between the percentage of concentrate and the source of dietary fat was significant: the milk from H-SB group was the richest in c9,c12-C18:2 in spite of the fact that H-CS goats had a slightly higher intake of c9,c12-C18:2 (H-SB: 23g/j vs. H-CS: 30g/j). It is possible that the FA protection from ruminal metabolism of soybeans was greater than for canola seed, allowing a higher flow of c9,c12-C18:2 towards the mammary gland (the calculated transfer efficiency was 20.6% for H-SB vs. 10.2% for H-CS). This hypothesis is supported by: an important increase in C18:0 in the milk of goats fed CS when compared to those receiving SB, the small effect of the nature of the fat source in the contents of c9-C18:1 (in spite of the differences in intake, data not shown), the absence of effect on the milk fat contents of c9,c12,c15-C18:3 (in spite of a higher intake in the CS group, especially in the H-CS, data not shown). Gulati et al. (1997) observed an increase in C18:0 contents of milk from goats fed untreated canola seed, whereas the use of the same fat source protected from the ruminal hydrogenation increased the proportions of C18:1 and C18:2.

### Short and medium-chain fatty acids (C4:0 - C16:0)

The proportions of the FA synthesized de novo by the mammary gland (short and medium chain FA) were little affected by the diet which is in agreement with Schmidely and Sauvant (2001) and Chilliard et al. (2003). In dairy cows, feeding high concentrate diets with or without lipid addition inhibits the activity and abundance of acetyl-CoA carboxylase and the activity of FA synthetase in the mammary gland, which depresses the contents of medium-chain FA and consequently, the milk fat content (Piperova et al. 2000). Contrarily, dairy goats fed vegetable oils had no decrease in mRNA or activity of acetyl-CoA carboxylase and FA synthetase (Bernard et al., 2005b).

The C16:0 has a dual origin: it is partially produced in the mammary gland and also extracted from the blood. The percentage of concentrate did not affect this FA, as observed by Calderon et al (1984) and Ledoux et al, (2001). However, compared to CS diets, the milk from goats fed SB contained more C16:0. The decrease in C16:0 probably reflected the higher intake of long chain FA as a consequence of CS feeding. Generally, when compared to goats fed control diets, both soybean (Schmidely et al, 2005) and canola seed (Chilliard et al., 2003) supplementation decreases milk percentages of C16:0.



### Even-numbered and branched-chain fatty acids

Dietary fat had no effect on iso and anteiso FA, but they were increased from 1.3 to 1.9 times in the milk of goats from L groups in comparison with H groups. The contents of odd FA are raised by L rations, especially C17:0. This FA, as well as iso and anteiso FA are synthesized in the rumen (Massart-Leën and al, 1981) and the decrease of the contents of these FA in the milk from goats fed H diet indicates that these rations had a more marked impact on ruminal environment. The effect of the lipid source seems secondary to the effect of the percentage of concentrate and significant differences are observed only between L-SB and L-CS.

### **2.2.5. Conclusions**

The percentage of concentrate of the ration and the nature of the lipid supplementation had no effect on the production of milk of dairy goats or on its composition in fat, protein, lactose and urea. However, rations rich in concentrate and dietary fat can be used to modulate the FA composition of milk fat. Milk FA profile, especially long-chain FA, reflected the FA intake and the modifications of these FA by ruminal biohydrogenation. The rations with soybeans had lower contents of total FA, partially explaining the weaker effect of soybean incorporation on milk FA when compared to canola seed addition. The effects of diets with 65% of concentrate and the addition of canola seeds were complementary, mainly on total *trans*-C18:1, but the profile of *trans* isomers seems depend on the source of dietary fat. Feeding high concentrate diets also increased the contents of c9,t11-C18:2 in milk. This CLA isomer can have positive effects for human health, but its increase was accompanied by an increase in the *trans*-FA content which some isomers are considered harmful.

### **Acknowledgements:**

The assistance of J. Tessier, A. Eymard and their team in the management of the goats and in obtaining research data is gratefully acknowledged.

### 3. Aspects digestifs (Article 3)

Influence du pourcentage de concentré et de la supplémentation lipidique par des graines de colza ou de soja sur les flux duodénaux des parois et d'acides gras chez la chèvre laitière.

#### 3.1. Introduction

Chez les ruminants, la digestion des lipides alimentaires (galactolipides et triglycérides) est initiée lors d'une étape d'hydrolyse ruminale sous l'action des lipases microbiennes. Les AG libérés sont adsorbés majoritairement sur les particules alimentaires présentes dans le milieu ruminal, mais une fraction d'entre eux peut être incorporée dans les bactéries ruminales, particulièrement celles fixées aux particules alimentaires (Legay-Carmier, 1988).

Les AG libérés sont ensuite isomérisés et hydrogénés (Harfoot et Hazlewood, 1988). La biohydrogénation des AGPI est une succession d'étapes d'isomérisation et de réduction dont le produit terminal est le C18:0. Toutefois, des AGPI et certains intermédiaires de la biohydrogénation ruminale (AG *trans* conjugués ou non) peuvent échapper à l'hydrogénation (Harfoot et Hazlewood, 1988). Dans les conditions normales de fonctionnement ruminal, la capacité de biohydrogénation des AG ne présente que peu de limites puisqu'en moyenne 90% de l'acide linoléique et 82% de l'acide linoléique sont hydrogénés (Doreau et Chilliard, 1997, Sauvant et Bas, 2001). Les bactéries ruminales synthétisent aussi des AG ramifiés et impairs (Doreau et Chilliard, 1997, Sauvant et Bas, 2001). En conséquence, le flux d'AG arrivant dans le duodénum se compose principalement d'AG saturés, surtout de C18:0 et de C16:0, mais aussi des AGPI ayant échappé à l'hydrogénation ruminale, des AG intermédiaires des processus de biohydrogénation, ainsi que des AG synthétisés *de novo* par les microorganismes.

Les proportions de ces différents AG dans les contenus duodénaux sont assez variables et ils sont fortement influencés par certaines des caractéristiques du régime alimentaire. L'utilisation des rations riches en concentré est un des principaux facteurs responsables de la

diminution de la lipolyse et de la biohydrogénation, ce qui a comme conséquence l'accumulation d'intermédiaires de biohydrogénation, en particulier du t10-C18:1 et t10,c12-C18:2 (Piperova et al., 2002). Ces modifications du profil en AG du contenu duodéal ont été reliées aux modifications des processus fermentaires dans le rumen, telles que la réduction du pH (Kalscheur et al., 1997b, Piperova et al., 2002) et l'inhibition de l'activité des bactéries cellulolytiques qui sont les principales responsables de la biohydrogénation (Harfoot et Hazlewood, 1988).

La supplémentation lipidique constitue un autre facteur important de variation de l'amplitude (Harfoot et Hazlewood, 1988) et des voies d'hydrogénation ruminale (Loor et al., 2002a, Loor et al., 2005b). L'apport de lipides alimentaires induit une augmentation de la teneur en lipides des bactéries ruminales par captation directe des AG alimentaires, qui est cependant souvent associée à une réduction de la synthèse *de novo* des lipides bactériens (Jenkins, 1993, Doreau et Chilliard, 1997). Par ailleurs, la quantité et le profil des produits intermédiaires de la biohydrogénation sont largement influencés par la teneur et le profil en AG des lipides ajoutés à la ration (Loor et al., 2002a, Loor et al., 2005a). L'apport de sources riches en acide linoléique semble favoriser la production dans le rumen de t11-C18:1 et en c9,t11-C18:2 (Loor et al., 2002a, Loor et al., 2005a), tandis que la comparaison entre l'apport d'huile de soja et de colza a montré une production de t10-C18:1 plus importante avec le colza (Loor et al., 2002a).

L'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport lipidique considéré d'un point de vue quantitatif et qualitatif sur les flux de lipides duodénaux a été peu étudiée chez la vache laitière (Loor et al., 2004) et, à notre connaissance, il n'existe pas de données concernant les chèvres laitières. En conséquence, un des objectifs des expérimentations que nous avons conduites pendant cette thèse est d'étudier la relation entre les flux duodénaux d'AG et la composition en AG de la MG laitière. Dans cet objectif global, nous avons plus particulièrement cherché à caractériser dans cette partie les effets principaux et l'interaction entre le pourcentage de concentré (bas vs. haut) et l'apport quantitatif (Exp.1: témoins vs. supplémentés en graines de colza) ou la nature du supplément lipidique (Exp.2: graines de colza vs. graines de soja) sur les flux duodénaux d'AG et sur leur profil en AG. Nous nous sommes également intéressés aux conséquences de ces facteurs alimentaires sur la digestion des parois dans le rumen et aux flux duodénaux associés.

## 3.2. Matériel et méthodes

### - Animaux et régimes

Les canules ruminales ou duodénales ont été posées 3 semaines après la mise bas, au bloc opératoire de l'INRA de Jouy-en-Josas. Après les opérations, les chèvres ont été placées sur lit de paille et alimentées en groupe avec un régime composé de foin de graminées et de 20% de concentré commercial (Fluvialac, Agralys Aliment, Chateaudun) pendant 3 semaines. Elles ont été ensuite placées en cases individuelles de digestibilité et elles ont commencé à recevoir leurs rations expérimentales. L'adaptation aux régimes a été progressive, comme décrit dans les **articles 1 et 2 (aspects zootechniques)**. Pendant la période expérimentale, les chèvres ont été alimentées individuellement deux fois (0800 et 1700h) par jour, juste après les traites. Les rations ont été fournies *ad libitum*.

Douze chèvres fistulées ( $65 \pm 6$  j de lactation au début des mesures de flux) ont été utilisées pour l'Exp.1. Elles ont reçu les régimes présentés dans l'**article 1** (L-CS0, L-CS20, H-CS0 et H-CS20, avec 3 chèvres/régime). Lors de l'Exp.2, les contenus duodénaux n'ont pas pu être prélevés sur des chèvres du groupe H-CS, ainsi les données de cette expérimentation ne correspondent qu'à 3 groupes (**article 2** - L-CS, L-SB et H-SB, avec 2 chèvres/régime). Les chèvres étaient à  $67 \pm 4$  j de lactation en début de période.

### - Prélèvements

Deux périodes de mesure de flux duodénaux, espacées de 3 semaines, ont été réalisées pendant l'Exp.1 et une seule période pendant l'Exp.2. Le marqueur utilisé était l'oxyde de chrome ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Prolabo) dans des capsules de gélatine (Société LGA, Bandol) et administré par voie ruminale à chaque repas à la dose journalière de 3,6 g. Chaque période de mesure correspondait à 3 semaines: la 1<sup>ère</sup> pour atteindre l'équilibre du marqueur, la 2<sup>ème</sup> pour les prélèvements de fèces afin de mesurer le flux quotidien de chrome, et la 3<sup>ème</sup> pour les prélèvements des contenus duodénaux. Avant toute distribution de chrome, des échantillons de fèces et de contenus duodénaux ont été prélevés pour servir de standard pour les dosages du marqueur.

Les animaux ont été pesés pendant la première semaine de chaque période de mesure. L'ingestion a été mesurée tous les jours. Des échantillons des rations ont été collectés au

début de chaque période de mesure de flux. Une aliquote a été séchée en étuve (90 °C/48 h) pour déterminer la MS et la deuxième aliquote a été congelée et postérieurement lyophilisée (72 h), puis broyée (1 mm) avant dosages des teneurs en protéines, NDF, ADF, ADL, EE et AG et détermination du profil en AG. La production fécale totale de chaque chèvre a été pesée pendant 5 jours et des échantillons correspondant à 25% du total produit ont été prélevés. Une aliquote a été séchée en étuve (90 °C/48 h) pour déterminer la MS et l'autre a été congelée, lyophilisée (72 h), broyée (1 mm) et regroupée par chèvre et par période. Cet échantillon composé a été utilisé pour le dosage du marqueur et des teneurs en NDF, ADF et ADL. Du contenu duodéal (volume variable pour l'Exp.1 et environ 60 mL/chèvre/prélèvement pour l'Exp.2) a été collecté à intervalle de 6 ou 8 h pendant 3 j, de façon à avoir des échantillons représentatifs d'un nyctémère. Les contenus duodénaux ont été lyophilisés (72 h) pour la détermination de la MS et ensuite regroupés (à poids égaux après séchage pour l'Exp.1 et à volumes égaux avant séchage pour l'Exp.2) par chèvre et par période. Des dosages des teneurs en NDF, ADF et EE et des teneurs et profils en AG ont été effectués sur les contenus duodénaux.

#### *- Analyses*

La teneur en protéine brute des rations a été déterminée par minéralisation avec un appareil de type micro-Kjeldahl. Le NDF, l'ADF et l'ADL des rations, des contenus duodénaux et fécaux ont été déterminés selon la méthode de Van Soest et al. (1991). Afin de minimiser l'interférence des lipides sur l'analyse de parois, les échantillons ont été préalablement lavés avec de l'acétone (2 fois 20 min). Les contenus duodénaux et fécaux destinés au dosage du chrome ont été minéralisés dans un four (550 °C/12 h) et l'extraction du marqueur a été réalisée sur les cendres en utilisant la méthode proposée par Siddons et al. (1985), mais avec les réactifs dilués au quart. Les standards ont été préparés par addition de quantités croissantes de chrome sur les échantillons prélevés avant la distribution du marqueur. La teneur en chrome a été dosée par spectrophotométrie d'absorption atomique (Thermo elemental - Solaar AA series spectrometer).

La détermination de la teneur en lipides (EE), l'extraction des lipides des aliments et des contenus duodénaux, et la détermination des teneurs en AGT des aliments ont été faites en utilisant la méthode de Folch et al. (1957). Les teneurs en AGT des contenus duodénaux ont été obtenus selon la méthode de Loor et al. (2004). La méthylation des AG et les paramètres

de chromatographie utilisés sont les mêmes que ceux préalablement décrits dans l'**article 1** pour l'analyse des AG du lait.

*- Calculs et analyse statistique*

$$\text{Flux duodénaux de MS (g/j)} = \frac{\text{quantité de Chrome excrétée dans les fèces}}{\text{concentration de Chrome dans le contenu duodéal}}$$

$$\text{Flux duodéal de parois, d'EE et d'AG (g/j)} = \text{concentration du composant (\%MS)} \times \text{flux duodénaux de MS (g/j)}$$

$$\text{Digestibilité ruminale apparente de la MS, des parois, de l'EE et des AG (\%)} = \frac{\text{flux duodénaux du composant (g/j)} - \text{ingestion du composant (g/j)}}{\text{ingestion du composant (g/j)} \times 100}$$

$$\text{Digestibilité totale apparente de MS et parois (\%)} = \frac{\text{quantité du composant excrétée dans les fèces (g/j)} - \text{ingestion du composant (g/j)}}{\text{ingestion du composant (g/j)} \times 100}$$

*- Analyse statistique*

Pour l'Exp.1, les données individuelles d'ingestion, les teneurs en MS, en NDF, en ADF, en EE, en AGT et pour chaque AG dans les contenus duodénaux ainsi que les flux duodénaux associés, et les digestibilités fécales et/ou ruminales obtenues pour les 2 périodes de prélèvement ont été moyennées par chèvre. Elles ont été analysées selon un modèle d'analyse de variance à 2 facteurs principaux et une interaction, incluant les effets du pourcentage de concentré (1 ddl), de l'apport de CS20 (1 ddl), et l'interaction entre ces 2 facteurs (1 ddl). Pour l'Exp.2, du fait de l'absence de données pour le groupe H-CS, les données ont été analysées selon un modèle d'analyse de variance à un facteur à 3 niveaux (2 ddl). Dans les 2 expérimentations, la procédure utilisée a été la procédure GLM (SAS, 2000) et la variance résiduelle du modèle a été considérée comme le terme d'erreur. Les effets des facteurs ont été considérés significatifs au seuil  $P < 0,05$ ; cependant les effets dont la probabilité était  $P < 0,10$  ont été mentionnés.

### 3.3. Résultats

#### 3.3.1. Expérimentation 1

##### - Composition des rations et ingestion

La composition chimique des rations de l'Exp.1 est présentée dans le Tableau F1.

**Tableau F1** : Composition chimique et profil en AG des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut	
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>
<i>Composition chimique</i>	% MS			
Protéine brute	12,4	12,4	13,3	13,4
NDF	49,2	49,6	42,9	41,6
ADF	31,1	32,3	25,1	25,2
EE	4,4	5,5	4,9	6,4
AGT	1,6	2,7	1,8	4,8
Énergie (NEL) <sup>1</sup>	1386	1424	1598	1547
<i>Profil en acides gras</i>	% AGT			
C <sub>16:0</sub>	23,03	12,09	19,82	9,59
C <sub>18:0</sub>	2,30	1,79	2,23	1,56
c9-C <sub>18:1</sub>	11,67	37,85	15,46	45,74
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	34,89	25,05	41,46	25,66
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	20,92	13,98	11,69	10,29

<sup>1</sup>Calculé à partir des résultats des dosages

Les facteurs expérimentaux n'ont pas eu d'effet significatif sur la MSI (Tableau F2). Par rapport aux rations L (pourcentage de concentré bas), les rations H (pourcentage de concentré élevé) ont accru significativement l'ingestion de protéines brutes, d'EE, d'AGT, d'acides oléique et linoléique et d'ENL, lorsque ces données sont exprimées en g/j ou en Kcal/j. Par rapport aux rations non supplémentées en lipides (CS0), l'apport de CS20 a accru significativement l'ingestion d'EE et d'AGT, surtout d'acide oléique. Les rations H-CS20 ont

induit les niveaux d'ingestion les plus élevés d'EE ( $P<0,10$ ), d'AGT ( $P<0,05$ ), d'acides oléique ou linoléique (exprimés en g/j).

**Tableau F2 :** Ingestion quotidienne des nutriments et de certains AG des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	CxCS
Poids vif (PV), kg	57	56	63	68		*	NS	NS
<i>Ingestion</i>	g/j							
MS	2623	2295	2609	2854	204	NS	NS	NS
Protéine brute	324	284	347	383	25	*	NS	NS
NDF	1291	1142	1120	1189	103	NS	NS	NS
ADF	827	739	654	720	67	NS	NS	NS
EE	114	127	128	182	10	**	**	+
AGT	52	65	56	95	5	**	***	*
Energie (EN <sub>L</sub> , kcal/j)	3611	3326	4114	4466	302	*	NS	NS
<i>Ingestion / poids vif</i>	g/PV / j							
MS/PV	45,5	41,3	41,8	43,1	4,0	NS	NS	NS
Protéine brute/PV	5,6	5,1	5,5	5,8	0,5	NS	NS	NS
NDF/PV	22,3	20,6	17,9	18,0	1,9	NS	NS	NS
ADF/PV	14,3	13,3	10,5	10,9	1,2	*	NS	NS
EE/PV	2,0	2,3	2,1	2,8	0,2	NS	*	NS
AGT/PV	0,9	1,2	0,9	1,4	0,1	NS	**	NS
Energie (NE <sub>L</sub> , kcal/PV)	62,4	60,1	65,8	67,5	6,0	NS	NS	NS
<i>Ingestion d'acides gras</i>	g/j							
C <sub>16:0</sub>	11,99	7,82	11,11	9,15	0,82	NS	**	NS
C <sub>18:0</sub>	1,20	1,17	1,25	1,49	0,10	+	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	6,08	24,67	8,66	43,65	1,30	***	***	***
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	18,16	16,21	23,23	24,50	1,55	*	NS	**
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	10,89	9,11	6,55	9,82	0,74	NS	NS	**

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

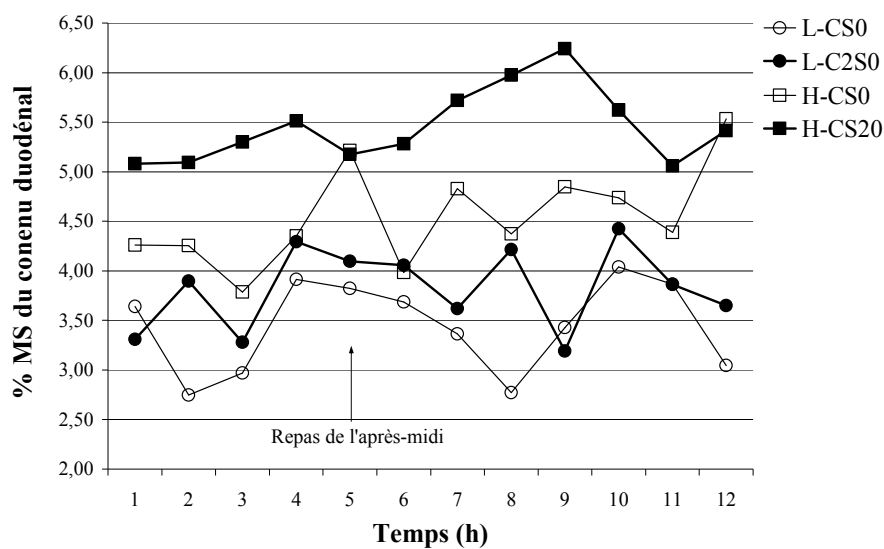
<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.



Les données d'ingestion (Tableau F2) et de flux (Tableau F4) ont aussi été calculées par rapport au poids vif (PV), car les chèvres des lots H étaient plus lourdes ( $P<0,05$ ) que celles des lots L. Cette différence n'est pas une conséquence des régimes expérimentaux, car le PV moyen des chèvres H était plus élevé que celui des chèvres L dès le début de la période expérimentale (données non présentées). L'ingestion de MS/PV, de protéine/PV et d'énergie/PV n'ont pas été influencées par les facteurs expérimentaux. Par rapport aux rations L, les rations H ont réduit significativement l'ingestion de ADF/PV et numériquement celle d'NDF/PV. Par rapport aux rations CS0, l'apport de CS20 a accru ( $P<0,05$ ) l'ingestion d'EE/PV et d'AGT/PV. Aucun effet significatif de l'interaction entre les deux facteurs expérimentaux n'a été identifié pour ces paramètres.

- Composition des contenus digestifs, flux et digestibilité de la matière sèche et des parois

Par rapport aux rations L, les rations H ont accru la teneur en MS (Figure F1;  $P<0,01$ ) et elles ont réduit la teneur en NDF et en ADF des flux duodénaux ou fécaux (Tableau F3). Par rapport aux rations CS0, l'apport de CS20 a accru ( $P<0,10$ ) la teneur en MS des contenus duodénaux ou fécaux, et la teneur en ADF des fèces.



**Figure F1** : Evolution de la matière sèche duodénale (%) au cours de la journée, selon le régime.

**Tableau F3 :** Composition des contenus duodénaux et des fèces chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré Addition de lipide	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	CxCS
<i>Duodénum</i>								
MS, %	3,43	3,86	4,56	5,44	0,21	***	**	NS
NDF, % MS	34,18	35,47	32,22	30,62	1,02	**	NS	NS
ADF, % MS	24,80	25,65	22,44	21,36	0,78	***	NS	NS
ADL, % MS	7,04	7,28	6,35	6,15	0,31	**	NS	NS
<i>Fèces</i>								
MS, %	27,01	30,33	31,84	32,89	0,91	**	+	NS
NDF, % MS	60,24	60,82	54,58	56,95	1,21	***	NS	NS
ADF, % MS	43,20	44,11	37,04	39,96	0,89	***	+	NS
ADL, % MS	12,04	12,78	10,91	12,67	0,27	+	***	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées. <sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$ .

Les facteurs expérimentaux n'ont pas affecté les flux duodénaux de MS, de NDF ou d'ADF exprimés en g/j (pour l'ADF:  $P<0,10$  - Tableau F4). Par rapport aux rations L, les rations H ont réduit les flux de NDF/PV ou d'ADF/PV au niveau duodéal ou fécal. L'apport de CS20 n'a pas modifié les flux de MS, de NDF, d'ADF (g/j ou /PV) au niveau duodéal ou fécal, par rapport aux rations CS0. Bien que l'effet de l'interaction entre les facteurs expérimentaux ne soit pas significative sur les flux duodénaux de MS ou de parois, les chèvres du lot L-CS0 ont présenté les flux fécaux de MS ou de parois les plus élevés (g/j, ou /PV).

Par rapport aux rations CS0, les rations CS20 ont présenté une digestibilité ruminale de la MS significativement réduite, et numériquement réduite pour le NDF et l'ADF; cependant dans l'ensemble du tube digestif la digestibilité de ces composants n'a pas été modifiée pour les rations CS20 par rapport à celles des rations CS0. Pour le NDF, l'ADF et la MS, l'interaction entre les deux facteurs expérimentaux n'a modifié leur digestion ni dans le rumen ni dans l'ensemble du tube digestif.

**Tableau F4 :** Flux et digestibilité de la matière sèche, NDF et ADF chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	Cx CS
<i>Flux duodénaux</i>	g/j							
MS	1704	1772	1426	1782	144	NS	NS	NS
NDF	576	628	459	555	49	NS	NS	NS
ADF	417	454	320	388	36	+	NS	NS
<i>Flux duodénaux/PV</i>	g/ PV /j							
MS/PV	29,4	32,2	22,7	27,3	2,9	NS	NS	NS
NDF/PV	10,1	11,4	7,3	8,5	0,9	*	NS	NS
ADF/PV	7,3	8,2	5,1	6,0	0,7	*	NS	NS
<i>Flux fécaux</i>	g/j							
MS	954	775	650	756	54	*	NS	*
NDF	575	470	356	431	35	**	NS	+
ADF	413	341	242	303	25	**	NS	*
<i>Flux fécaux/PV</i>	g/kg PV /j							
MS/PV	16,5	14,1	10,3	11,4	1,0	***	NS	NS
NDF/PV	9,9	8,6	5,6	6,5	0,7	**	NS	NS
ADF/PV	7,1	6,3	3,8	4,6	0,5	*	NS	NS
<i>Digestibilité ruminale</i>	% de l'ingestion							
MS	35,9	21,4	44,8	38,0	4,2	*	*	NS
NDF	54,9	44,1	58,3	53,8	3,9	NS	+	NS
ADF	48,7	37,6	50,1	46,7	4,6	NS	NS	NS
<i>Digestibilité totale</i>	% de l'ingestion							
MS	63,1	65,9	74,7	73,5	1,6	***	NS	NS
NDF	54,1	58,3	67,6	63,7	2,8	***	NS	NS
ADF	48,3	53,2	62,3	58,0	3,3	**	NS	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$ .

#### - Flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT

Par rapport aux rations L, les rations H ont accru numériquement les flux duodénaux d'AGT (g/j ou /PV), et significativement les teneurs en EE ou en AGT de ces contenus (Tableau F5). Par rapport aux rations CS0, l'apport de CS20 a augmenté significativement les flux duodénaux de EE ou d'AGT (g/j ou /PV) et les teneurs en EE ou en AGT dans la MS duodénale. L'interaction entre les facteurs expérimentaux n'a été significative que pour la

teneur en EE des contenus duodénaux, les chèvres du lot H-CS20 présentant les valeurs les plus élevées (comme pour la teneur en AGT; NS).

Par rapport aux rations L, les rations H ont augmenté la digestibilité ruminale apparente de l'EE mais pas celle des AGT. Par rapport aux rations CS0, les rations CS20 ont réduit fortement la digestibilité ruminale apparente de l'EE ou des AGT. Il faut noter que les erreurs-types de la digestibilité ruminale des AG ou de l'EE ont été très importantes comparativement aux moyennes observées.

**Tableau F5 :** Teneurs, flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	CxCS
<i>Contenus duodénaux</i>								
	% MS							
EE	6,45	8,28	7,07	10,33	0,21	***	***	*
AGT	2,31	5,08	3,47	7,19	0,32	**	***	NS
<i>Flux duodénaux</i>								
	g/j							
EE	109	141	101	181	10	+	**	NS
AGT	40	90	49	126	9	*	***	NS
<i>Flux duodénaux/PV</i>								
	g/PV /j							
EE/PV	1,89	2,67	1,61	2,75	0,22	NS	**	NS
AGT/PV	0,69	1,60	0,78	1,95	0,16	NS	***	NS
<i>Digestibilité ruminale</i>								
	% de l'ingestion							
EE	5,1	-17,2	20,9	1,6	5,0	**	***	NS
AGT	26,4	-41,6	10,4	-31,1	11,1	NS	***	NS

<sup>1</sup>Les données sont exprimées par moyenne.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

*- Profil et flux d'AG des lipides duodénaux*

Par rapport aux rations L, les rations H ont significativement diminué la proportion des AG ramifiés (i-C14:0, i-C16:0, ai-C17:0), des AG impairs (C15:0, C17:0) et du C16:0, dans les AG duodénaux, tandis que la diminution du C18:0 n'a été que numérique (Tableau F6). En revanche, les rations H ont augmenté la proportion des *cis*-C18:1 (effet significatif sur les isomères en position c6- et c11- et tendance pour l'isomère en position c9-), ainsi que la proportion des *trans*-C18:1 totaux (+200%), en augmentant chacun des isomères *trans* identifiés (t4- au t12- :  $P < 0,01$  à  $P < 0,10$ ) d'un facteur 2 à 3 (Tableau F7). Les contenus duodénaux des chèvres alimentées avec les régimes H contenaient 160% plus de t10-C18:1 et 3 fois plus de t11-C18:1 que ceux des régimes L (Tableau F7). En conséquence, les flux duodénaux (g/j, Tableau F8) des *trans*-C18:1 totaux et de chacun des isomères de position des *trans*-C18:1 ont été significativement accrus par les rations H par rapport aux rations L. Les rations H ont également significativement augmenté la proportion du c9,t11-C18:2 dans les AG duodénaux (Tableau F6) et le flux de cet AG (Tableau F8), mais ces teneurs sont restées très faibles. Le t10,c12-C18:2 n'a été détecté dans aucun échantillon de contenu duodéal.

Par rapport aux rations CS0, les rations CS20 ont significativement diminué la proportion des AG ramifiés (i-C16:0 et ai-C17:0), des AG impairs (C15:0, C17:0) et du C16:0 dans les AG duodénaux, et elles ont numériquement diminué la proportion du C18:0. Les rations CS20 ont accru ( $P < 0,01$  à  $P < 0,05$ ) la proportion des c6-, c9-, et c11-C18:1, et de tous les isomères des AG à 18 C de configuration *trans* (Tableau F6). Parmi les isomères du *trans*-C18:1, les proportions du t10- et t11- ont doublé, celles du t4- et du t6+7+8- ont été multipliées par 4. Par conséquent, les pourcentages de t4-, t6+7+8- et t11-C18:1 par rapport aux *trans*-C18:1 totaux ont été fortement accrus ( $P < 0,05$  - Tableau F7). Par rapport aux rations CS0, les rations CS20 ont significativement augmenté les flux duodénaux (g/j) de tous les isomères *trans*-C18:1, du c9,t11-C18:2, du c9,c12-C18:2 et du c9,c12,c15-C18:3, bien que pour ces 2 derniers AG, leur proportion dans les AG duodénaux n'a pas été modifiée.

L'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport lipidique a peu modifié le profil en AG duodénaux ou la proportion de chacun des isomères *trans*-C18:1 (Tableaux F6 et F7). Cependant, les pourcentages des isomères t10- et t11- par rapport aux *trans*-C18:1 totaux ont été les plus élevés ( $P < 0,01$ ) dans le duodénum des chèvres recevant la ration H-CS20 (Tableau F7); toutefois, le t11-C18:1 a toujours été le principal isomère *trans* duodéal. Au total, les flux duodénaux de *trans*-C18:1 totaux (g/j) ainsi que de tous les isomères *trans* (à l'exception du t5- et du t12-) ont été les plus élevés chez les chèvres de la ration H-CS20.

**Tableau F6 :** Profil en AG des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré Addition de lipide	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	Cx CS
<i>Acides gras</i>	% AGT							
C <sub>8:0</sub>	0,82	0,44	0,32	0,83	0,21	NS	NS	+
C <sub>10:0</sub>	0,65	0,94	0,67	0,58	0,17	NS	NS	NS
C <sub>11:0</sub>	0,03	0,11	0,07	0,05	0,03	NS	NS	NS
C <sub>12:0</sub>	0,24	0,27	0,25	0,20	0,05	NS	NS	NS
C <sub>13:0</sub>	0,12	0,11	0,12	0,08	0,02	NS	NS	NS
C <sub>14:0</sub>	1,05	0,96	0,92	0,56	0,15	NS	NS	NS
i-C <sub>14:0</sub>	0,56	0,62	0,40	0,28	0,09	*	NS	NS
C <sub>15:0</sub>	2,21	1,64	1,47	0,98	0,18	***	**	NS
ai-C <sub>15:0</sub>	1,92	1,66	1,96	1,02	0,24	NS	NS	NS
C <sub>16:0</sub>	18,80	14,04	16,99	11,62	1,03	*	***	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0,29	0,34	0,25	0,27	0,04	NS	NS	NS
i-C <sub>16:0</sub>	0,71	0,51	0,51	0,27	0,07	**	**	NS
C <sub>17:0</sub>	1,02	0,52	0,58	0,35	0,04	***	***	**
ai-C <sub>17:0</sub>	0,51	0,32	0,41	0,22	0,04	*	***	NS
C <sub>18:0</sub>	46,37	40,38	38,40	35,18	3,80	NS	NS	NS
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	4,01	7,05	8,41	16,45	1,11	***	*	NS
c6-C <sub>18:1</sub>	0,87	1,66	1,42	2,76	0,28	*	*	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	3,89	10,02	7,82	11,12	1,23	+	**	NS
c11-C <sub>18:1</sub>	0,45	1,09	0,76	1,64	0,14	*	***	NS
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0,02	0,02	0,06	0,02	0,00	NS	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	6,15	7,04	9,18	6,02	0,99	NS	NS	+
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,04	0,02	0,04	0,08	0,01	*	NS	+
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	ND <sup>4</sup>	ND	ND	ND	-	-	-	-
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	1,94	2,33	1,78	1,71	0,26	NS	NS	NS
C <sub>19:0</sub>	0,15	0,17	0,16	0,13	0,02	NS	NS	NS
C <sub>20:0</sub>	0,62	0,66	0,47	0,59	0,08	NS	NS	NS
c11-C <sub>20:1</sub>	0,05	0,22	0,16	0,50	0,05	*	**	NS
C <sub>20:2</sub>	0,06	0,03	0,06	0,04	0,02	NS	NS	NS
C <sub>21:0</sub>	0,08	0,05	0,05	0,07	0,01	NS	+	*
C <sub>22:0</sub>	0,42	0,25	0,37	0,20	0,04	NS	*	NS
c13-C <sub>22:1</sub>	ND	0,17	0,17	0,42	0,05	**	***	+
Non identifiés	5,88	6,31	6,04	5,39	0,39	NS	NS	NS

<sup>1</sup> Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup> C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza. ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif

<sup>4</sup> Non détecté

**Tableau F7 :** Profil en AG *trans*-C18:1 des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoin - CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>		
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>		C	CS	Cx CS
<i>Acides gras trans</i>	% AGT							
t4-C <sub>18:1</sub>	0,03	0,14	0,07	0,27	0,01	***	***	*
t5-C <sub>18:1</sub>	0,09	0,23	0,14	0,28	0,02	+	***	NS
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0,25	0,99	0,72	2,04	0,11	***	***	+
t9-C <sub>18:1</sub>	0,16	0,52	0,40	0,88	0,04	***	***	NS
t10-C <sub>18:1</sub>	0,32	0,78	0,91	1,29	0,10	***	**	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	2,73	3,44	5,24	10,15	0,82	***	*	+
t12-C <sub>18:1</sub>	0,43	0,95	0,92	1,53	0,10	***	***	NS
	% <i>trans</i> -C18:1							
t4-C <sub>18:1</sub>	0,82	1,99	0,94	1,72	0,13	NS	***	+
t5-C <sub>18:1</sub>	2,35	3,20	1,96	1,79	0,39	NS	NS	NS
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	6,17	14,00	8,65	12,67	0,56	NS	***	***
t9-C <sub>18:1</sub>	3,88	7,47	5,01	5,77	0,51	NS	*	*
t10-C <sub>18:1</sub>	7,99	11,09	10,78	8,24	0,63	NS	NS	**
t11-C <sub>18:1</sub>	68,21	48,74	61,14	60,02	2,29	NS	**	**
t12-C <sub>18:1</sub>	10,59	13,50	11,52	9,80	0,85	+	NS	+

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

**Tableau F8 :** Flux duodénaux de certains des AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas ou haut pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (CS0) avec des graines de colza laminées<sup>1</sup>.

Pourcentage de concentré	Bas		Haut		ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>		
	Témoin	Colza	Témoin	Colza		C	CS	Cx CS
Addition de lipide	L-CS0	L-CS20	H-CS0	H-CS20				
<i>Acides gras</i>	g/j							
C <sub>16:0</sub>	7,38	12,93	8,27	14,23	1,24	NS	***	NS
C <sub>18:0</sub>	18,54	35,06	18,99	42,98	3,91	NS	***	NS
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	1,64	6,27	4,26	21,40	1,69	**	**	*
t4-C <sub>18:1</sub>	0,01	0,12	0,04	0,36	0,02	*	***	*
t5-C <sub>18:1</sub>	0,04	0,21	0,07	0,37	0,03	+	***	NS
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0,11	0,88	0,36	2,68	0,19	**	***	*
t9-C <sub>18:1</sub>	0,07	0,48	0,20	1,12	0,07	**	***	*
t10-C <sub>18:1</sub>	0,14	0,69	0,46	1,60	0,11	***	***	*
t11-C <sub>18:1</sub>	1,10	3,05	2,67	13,22	1,13	**	**	*
t12-C <sub>18:1</sub>	0,18	0,84	0,46	2,05	0,17	*	***	NS
c6-C <sub>18:1</sub>	0,39	1,43	0,72	3,68	0,37	+	**	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	1,54	9,49	3,88	14,80	1,75	NS	***	NS
c11-C <sub>18:1</sub>	0,18	1,03	0,38	2,14	0,21	+	***	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	2,55	6,79	4,53	7,84	1,22	NS	**	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,01	0,00	0,02	0,09	0,01	**	+	*
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	0,80	2,21	0,89	2,26	0,36	NS	**	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées. <sup>2</sup> Erreur-type ( $n=3$  par groupe).

<sup>3</sup>C = effet du pourcentage de concentré ; CS = effet de l'apport de graine de colza ; CxCS = effet de l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

### 3.3.1. Expérimentation 2

#### - Composition des rations et ingestion

La composition chimique des rations de l'Exp.2 est présentée dans le Tableau F9.



**Tableau F9 :** Composition chimique et profil en AG des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB).

<b>Ration</b>	<b>L-CS</b>	<b>L-SB</b>	<b>H-SB</b>
<i>Composition chimique</i>		% MS	
Protéine brute	11,2	11,8	13,3
NDF	52,0	50,5	41,0
ADF	30,5	29,9	23,9
Lipides (extrait étheré)	4,8	4,9	5,5
Acides gras totaux (AGT)	2,2	2,4	3,3
Énergie (NEL) <sup>1</sup>	1513	1513	1700
<i>Profil en acides gras</i>		% AGT	
C <sub>16:0</sub>	14,89	17,62	15,39
C <sub>18:0</sub>	2,23	3,46	3,61
c9-C <sub>18:1</sub>	33,00	15,73	18,12
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	25,39	39,26	47,75
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	14,51	14,22	9,36
C <sub>19:0</sub> - C <sub>24:0</sub>	0,72	0,80	0,67

<sup>1</sup> Calculée à partir des valeurs d'énergie des ingrédients

Durant les périodes de bilan duodéal, les niveaux d'ingestion ont été très variables entre chèvres et aucun effet significatif des régimes expérimentaux sur l'ingestion (g/j ou /PV) de MS, de protéines brutes, de NDF, d'ADF, d'EE ou d'AGT (Tableau F10) n'a pu être mis en évidence. Cependant, la ration H-SB a numériquement diminué l'ingestion de NDF et ADF et elle a numériquement augmenté l'ingestion d'EE et d'AGT par rapport aux rations L-SB (bas pourcentage de concentré avec des graines de soja) et L-CS (bas pourcentage de concentré avec des graines de colza).

L'ingestion de c9-C<sub>18:1</sub> a été plus élevée avec la ration L-CS qu'avec la ration L-SB, tandis que celle du c9,c12-C<sub>18:2</sub> a été la plus importante avec la ration L-SB. Il n'y a pas eu de différence significative entre les rations L-SB et H-SB pour l'ingestion de c9-C<sub>18:1</sub>, ou de c9,c12-C<sub>18:2</sub>. L'ingestion de c9,c12,c15-C<sub>18:3</sub> a été identique entre les trois régimes.

**Tableau F10 :** Ingestion quotidienne des nutriments et de certains AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

<b>Ration</b>	<b>L-CS</b>	<b>L-SB</b>	<b>H-SB</b>	<b>ET<sup>2</sup></b>	<b>P<sup>3</sup></b>
<i>Poids vif (PV), kg</i>	59	67	64	3	NS
<i>Ingestion</i>	g/j				
MS	2854	2537	2341	156	NS
Protéine brute	318	296	311	16	NS
NDF	1485	1281	960	111	NS
ADF	871	759	559	66	NS
EE	136	125	129	7	NS
AGT	61	60	74	5	NS
Energie (NE <sub>L</sub> , kcal/j)	4317	3838	3980	417	NS
<i>Ingestion / poids vif</i>	g/ PV/j				
MS/PV	48,8	39,1	36,4	3,4	NS
Protéine brute/PV	5,4	4,6	4,8	0,3	NS
NDF/PV	25,4	19,7	14,9	2,2	NS
ADF/PV	14,9	11,7	8,7	1,3	NS
EE/PV	2,3	1,9	2,0	0,2	NS
AGT/PV	1,0	0,9	1,2	0,1	NS
Energie (NE <sub>L</sub> , kcal/PV)	73,8	59,1	63,8	8,0	NS
<i>Acides gras individuels</i>	g/j				
C <sub>16:0</sub>	9,1	10,5	9,7	0,7	NS
C <sub>18:0</sub>	1,4	2,1	2,7	0,3	+
c9-C <sub>18:1</sub>	20,2	9,4	13,5	2,1	*
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	15,5	23,4	35,5	4,0	+
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	8,9	8,5	7,0	0,5	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup>Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

*- Composition des contenus digestifs, flux et digestibilité de la matière sèche et des parois*

Les teneurs en MS, NDF et ADF au niveau duodénal ou fécal ont été identiques entre les rations L-CS et L-SB (Tableau F11). Par rapport à ces deux rations, la ration H-SB a induit des teneurs plus faibles en NDF et ADF au niveau duodénal ou fécal.

**Tableau F11** : Composition des contenus duodénaux et des fèces chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

Ration	L-CS	L-SB	H-SB	ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>
<i>Duodénum</i>					
MS, %	3,9	3,6	3,4	0,3	NS
NDF, % MS	35,0	32,8	22,1	2,7	*
ADF, % MS	25,4	23,4	14,8	2,1	*
ADL, % MS	7,1	6,5	4,3	0,6	**
<i>Fèces</i>					
MS, %	27,4	27,9	26,5	0,5	NS
NDF, % MS	53,7	55,2	50,4	1,1	NS
ADF, % MS	37,3	38,1	32,8	1,2	+
ADL, % MS	10,5	10,6	9,7	0,2	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup>Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

Les rations expérimentales n'ont pas significativement affecté les flux duodénaux ou fécaux de MS (g/j ou /PV, Tableau F12). Par ailleurs, les valeurs individuelles obtenues ont été très variables, et le nombre d'animaux faible, ce qui rend difficile l'obtention de différence significative pour les flux de NDF et ADF entre les régimes à bas ou haut pourcentage de concentré, en dépit des valeurs numériquement plus basses chez le groupe H-SB.

**Tableau F12 :** Flux et digestibilité de la matière sèche, NDF et ADF chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

<b>Ration</b>	<b>L-CS</b>	<b>L-SB</b>	<b>H-SB</b>	<b>ET<sup>2</sup></b>	<b>P<sup>3</sup></b>
<i>Flux duodénaux</i>	g/j				
MS	1603	1880	1461	125	NS
NDF	558	616	332	64	NS
ADF	405	439	224	48	+
<i>Flux duodénaux/PV</i>	g/kg PV /j				
MS/PV	27,4	28,6	22,6	1,9	NS
NDF/PV	9,6	9,4	5,2	1,0	NS
ADF/PV	6,9	6,7	3,5	0,8	+
<i>Flux fécaux</i>	g/j				
MS	798	831	730	39	NS
NDF	429	460	368	29	NS
ADF	298	318	239	22	NS
<i>Flux fécaux/PV</i>	g/kg PV /j				
MS/PV	13,7	12,8	11,5	0,9	NS
NDF/PV	7,4	7,1	5,8	0,6	NS
ADF/PV	5,1	4,9	3,8	0,5	NS
<i>Digestibilité ruminale</i>	% de l'ingestion				
MS	44,0	25,2	38,3	4,2	NS
NDF	62,4	51,3	66,5	3,6	NS
ADF	53,5	41,4	61,3	4,6	NS
<i>Digestibilité totale</i>	% de l'ingestion				
MS	72,2	67,2	67,7	2,1	NS
NDF	71,2	64,2	60,3	3,1	NS
ADF	65,9	58,2	55,6	3,2	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup>Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

Les rations expérimentales n'ont pas significativement affecté la digestibilité ruminale ou dans l'ensemble du tube digestif de la MS, du NDF ou de l'ADF, bien que la ration L-SB a présenté la plus faible digestibilité ruminale de la MS, du NDF et de l'ADF.

*- Flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et d'AGT*

Les rations expérimentales n'ont affecté significativement la teneur en EE ou en AGT des contenus duodénaux, en dépit de valeurs numériquement plus élevées pour la ration H-SB (Tableau F13). Simultanément, les rations n'ont modifié ni les flux duodénaux d'EE ou d'AG (g/j ou /PV), ni la digestibilité ruminale de ces composants.

**Tableau F13 :** Flux duodénaux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

Ration	<i>L-CS</i>	<i>L-SB</i>	<i>H-SB</i>	ET <sup>2</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>
<i>Contenus duodénaux</i>	% MS				
EE	7,9	7,5	9,5	0,5	NS
AGT	3,6	2,5	4,5	0,4	NS
<i>Flux duodénaux</i>	g/j				
EE	127	141	140	12	NS
AGT	56	44	65	8	NS
<i>Flux duodénaux/PV</i>	g/kg PV /j				
EE/PV	2,2	2,1	2,2	0,2	NS
AGT/PV	1,0	0,7	1,0	0,1	NS
<i>Digestibilité ruminale</i>	% de l'ingestion				
EE	6,8	-14,5	-6,9	8,3	NS
AGT	9,1	25,0	15,1	6,8	NS

<sup>1</sup> Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup> Effet des régimes expérimentaux, NS non significatif

## - Profil en AG des lipides duodénaux

**Tableau F14 :** Profil en AG des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou à haut pourcentage de concentré supplémentés avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

Ration	L-CS	L-SB	H-SB	ET <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>
Acides gras		% AGT			
C <sub>8:0</sub>	0,05	0,43	0,04	0,10	NS
C <sub>10:0</sub>	0,89	0,82	0,61	0,08	NS
C <sub>11:0</sub>	0,04	0,04	0,02	0,003	**
C <sub>12:0</sub>	0,33	0,32	0,21	0,03	NS
C <sub>13:0</sub>	0,14	0,16	0,12	0,02	NS
C <sub>14:0</sub>	1,37	1,36	0,96	0,11	NS
c9-C <sub>14:1</sub>	0,02	0,09	0,04	0,02	NS
iso-C <sub>14:0</sub>	0,72	0,66	0,49	0,05	*
C <sub>15:0</sub>	2,12	2,27	1,40	0,18	*
ante iso-C <sub>15:0</sub>	1,98	1,81	1,94	0,08	NS
C <sub>16:0</sub>	15,29	19,05	16,64	0,79	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0,14	0,40	0,27	0,07	NS
iso-C <sub>16:0</sub>	0,63	0,65	0,68	0,07	NS
C <sub>17:0</sub>	0,63	0,87	0,48	0,08	NS
ante iso-C <sub>17:0</sub>	0,34	0,45	0,49	0,05	NS
C <sub>18:0</sub>	37,20	41,41	29,74	2,46	+
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	4,99	3,87	7,23	0,65	*
c6-C <sub>18:1</sub>	1,14	0,73	1,36	0,14	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	11,45	5,71	8,90	1,13	*
c11-C <sub>18:1</sub>	0,69	0,57	0,87	0,09	NS
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0,14	0,17	0,14	0,02	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	8,50	8,54	18,00	2,16	+
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,02	0,04	0,11	0,02	+
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	ND <sup>4</sup>	ND	ND	-	-
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	3,24	2,28	2,79	0,25	NS
C <sub>19:0</sub>	0,16	0,15	0,12	0,01	NS
C <sub>20:0</sub>	0,53	0,50	0,28	0,05	-
c11-C <sub>20:1</sub>	0,06	0,02	ND	0,02	-
C <sub>20:2</sub>	ND	ND	ND	-	-
C <sub>21:0</sub>	0,05	0,06	0,05	0,00	NS
C <sub>22:0</sub>	0,26	0,35	0,18	0,03	*
c13-C <sub>22:1</sub>	0,07	0,15	0,10	0,05	NS
Non identifié	6,70	5,94	5,67	0,30	*

<sup>1</sup> Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup> Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif

<sup>4</sup> Non détecté

**Tableau F15 :** Profil en AG *trans*-C18:1 des lipides duodénaux chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB)<sup>1</sup>.

Ration	L-CS	L-SB	H-SB	ET <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>
<i>Acides gras trans</i>					
	% AGT				
t4-C <sub>18:1</sub>	0,10	0,03	0,05	0,01	**
t5-C <sub>18:1</sub>	0,22	0,19	0,05	0,04	NS
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0,67	0,26	0,58	0,08	*
t9-C <sub>18:1</sub>	0,37	0,16	0,34	0,04	*
t10-C <sub>18:1</sub>	0,52	0,31	0,69	0,07	***
t11-C <sub>18:1</sub>	2,40	2,51	4,61	0,47	**
t12-C <sub>18:1</sub>	0,70	0,42	0,90	0,09	*
	% <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>				
t4-C <sub>18:1</sub>	2,06	0,84	0,75	2,28	**
t5-C <sub>18:1</sub>	4,35	4,83	0,66	0,86	**
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	13,49	6,65	8,05	1,33	**
t9-C <sub>18:1</sub>	7,41	4,20	4,73	0,64	**
t10-C <sub>18:1</sub>	10,51	8,01	9,53	0,49	*
t11-C <sub>18:1</sub>	48,16	64,80	63,81	3,43	***
t12-C <sub>18:1</sub>	14,02	10,68	12,48	0,63	**

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées..

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup>Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

Par rapport à la ration L-SB, la ration H-SB n'a pas affecté significativement la proportion des AG pairs saturés à chaîne moyenne du C8:0 jusqu'au C16:0 dans les lipides duodénaux (Tableau F14). La ration H-SB a réduit la proportion des AG impairs (significativement pour C11:0 et C15:0, et numériquement pour C13:0 et C17:0), et celles de l'*i*-C14:0 et du C18:0 ( $P<0,10$ ).

Simultanément dans les lipides duodénaux, la ration H-SB a accru ( $P<0,05$ ) la proportion du c9-C18:1 ( $P<0,10$ ) et celle de tous les isomères de position des *trans*-C18:1 ( $P<0,05$ ) à l'exception du t4- et du t5-, mais il n'y a pas eu de différence entre les rations H-SB et L-SB pour la proportion de chaque isomère *trans* exprimée par rapport au *trans*-C18:1 totaux dans le duodénum (Tableau F15). Par rapport à la ration L-SB, la ration

H-SB a fortement accru la proportion du c9,c12-C18:2 ( $P<0,05$ ) dans le duodénum, ainsi que celle du c9,t11-C18:2 ( $P<0,10$ ), bien que la proportion de ce dernier dans les lipides duodénaux a été faible. La proportion du c9,c12,c15-C18:3 n'a pas été différente entre les rations H-SB et L-SB, et aucune ration n'a induit la présence de t10,c12-C18:2 dans les AG duodénaux.

Par rapport à la ration L-CS, la ration L-SB n'a pas significativement affecté la proportion des AG pairs saturés du C8:0 jusqu'au C14:0 et le C18:0 dans les lipides duodénaux, ni celle des AG impairs ou ramifiés (Tableau F14). Comparativement à la ration L-CS, la ration L-SB a significativement réduit la proportion des *trans*-C18:1 totaux, celle des isomères de position c9-, t4-, t6+7+8-, t10- et t12- du C18:1 par rapport aux AGT dans le duodénum: en conséquence, elle a réduit ( $P<0,05$ ) la proportion des isomères *trans* sur les positions t4-, t6+7+8-, t9-, t10- et t12- par rapport aux *trans*-C18:1 totaux au profit du t11-C18:1 (Tableau F15). Les proportions du c9,c12-C18:2, du c9,t11-C18:2 et du c9,c12,c15-C18:3 par rapport aux AG duodénaux ont été identiques entre les rations L-CS et L-SB.

En raison des grandes variabilités des flux d'AGT, nous n'avons pas discuté les résultats des flux (g/j) d'AG individuels pour la Exp.2 et ils ne sont présentés qu'à titre indicatif (Tableau F16).



**Tableau F16 :** Flux duodénaux de certains des AG chez des chèvres laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudées (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB).

Ration	L-CS	L-SB	H-SB	ET <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>
<i>Acides gras</i>	<i>g/j</i>				
C <sub>16:0</sub>	8,63	8,47	10,58	1,06	NS
C <sub>18:0</sub>	20,38	18,42	19,16	1,75	NS
Σ <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	2,77	1,71	4,77	0,75	NS
t4-C <sub>18:1</sub>	0,06	0,01	0,03	0,01	+
t5-C <sub>18:1</sub>	0,12	0,08	0,04	0,02	NS
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0,37	0,12	0,39	0,07	NS
t9-C <sub>18:1</sub>	0,21	0,07	0,23	0,04	NS
t10-C <sub>18:1</sub>	0,29	0,14	0,45	0,07	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	1,34	1,11	3,02	0,48	NS
t12-C <sub>18:1</sub>	0,39	0,18	0,60	0,10	NS
c6-C <sub>18:1</sub>	0,62	0,33	0,92	0,15	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	6,58	2,54	5,87	1,12	NS
c11-C <sub>18:1</sub>	0,36	0,26	0,56	0,08	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	4,93	3,79	12,41	2,37	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0,02	0,02	0,06	0,01	+
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	1,85	1,01	1,95	0,35	NS

<sup>1</sup>Les données présentées sont les moyennes observées.

<sup>2</sup> Erreur-type ( $n=2$  par groupe).

<sup>3</sup>Effet des régimes expérimentaux ; \*\*\* $P<0,001$  ; \*\* $P<0,01$  ; \* $P<0,05$  ; + $P<0,10$  ; NS non significatif.

### 3.4 Discussion

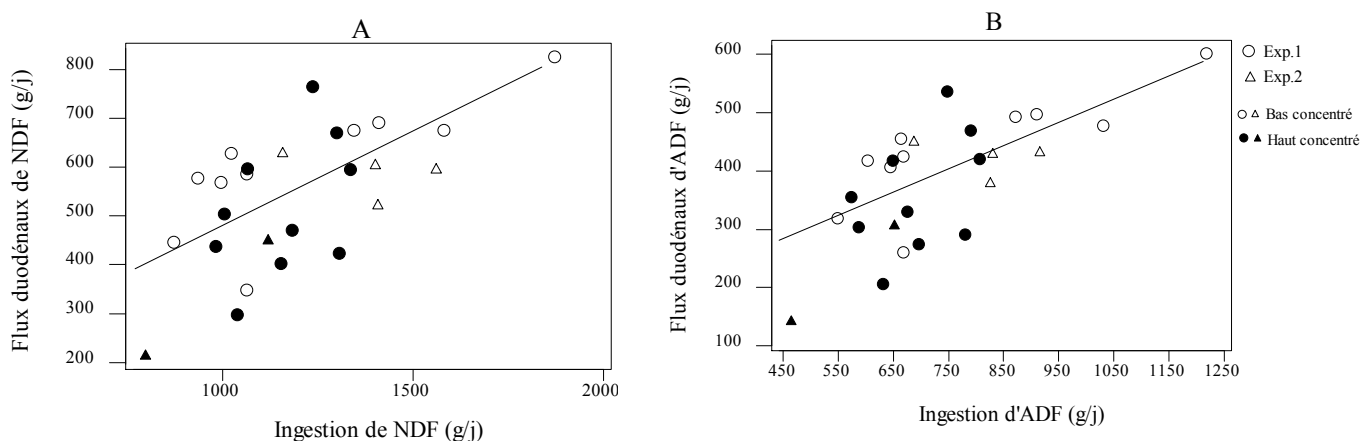
- *Composition des contenus digestifs, flux et digestibilité de la matière sèche et des parois*

#### Effet du pourcentage de concentré

La composition des contenus duodénaux ou fécaux a été fortement influencée par les caractéristiques des rations, en particulier le pourcentage de concentré. Dans l'Exp.1 (Tableau F3), mais pas dans l'Exp.2 (Tableau F11), l'accroissement du pourcentage de concentré de

45% à 65% a accru la teneur en MS des contenus duodénaux et celle des fèces. Les teneurs en MS dans le duodénum les plus élevées numériquement ont été observées chez les chèvres alimentées avec les régimes H-CS20 (Figure F1). Toutefois, les flux duodénaux ou fécaux de MS ou de MS/PV étaient similaires entre les groupes expérimentaux (Tableau F4).

Le pourcentage de concentré de la ration a eu un effet plus marqué sur les teneurs (Exp.1 et 2) et les flux (Exp.1) des parois végétales que la supplémentation lipidique (témoin vs. colza) ou la nature des lipides alimentaires (colza vs. soja). Par rapport aux chèvres des groupes L, les teneurs en NDF et ADF (Tableau F4 et F12) des contenus duodénaux et leur flux (Figure F2) ont diminué chez les chèvres recevant les rations avec 65% de concentré. Ce même type de réponse a été observé sur la composition des fèces (Exp.1: diminution significative des teneurs et flux des parois), mais les effets étaient moins marqués que dans le duodénum.



**Figure F2:** Relation globale entre l'ingestion de NDF (A,  $y = 98 + 0,373x$  ;  $r^2=41,2$  ;  $etr=111$ ) et d'ADF (B,  $y = 53,1 + 0,455x$  ;  $r^2=49,1$  ;  $etr=76$ ) les flux duodénaux (g/j) selon le pourcentage de concentré de la ration de deux expérimentations ( $n=18$  chèvres, mais 2 prélèvements pour les chèvres de l'Exp.1).

La digestibilité ruminale et la digestibilité fécale de la MS et des parois végétales peuvent être réduites chez des animaux alimentés avec des régimes riches en concentré. L'effet sur la digestibilité totale, ainsi que pour les flux fécaux, était moins marqué que sur la digestibilité ruminale, probablement en raison de l'activité microbienne dans le gros intestin qui compense, partiellement, une réduction de la digestion des parois dans le rumen (Murphy

et al., 1987, Jenkins, 1993). Cette diminution de la digestion est très liée à la chute du pH ruminal (Kalscheur et al., 1997b, Mulligan et al., 2002) qui inhibe l'activité des bactéries cellulolytiques (Harfoot et Hazlewood, 1988). Ce problème peut être minimisé par l'addition de substances tampons à la ration: dans l'étude de Kalscheur et al. (1997b) l'addition de 2% de tampons (NaHCO<sub>3</sub> et MgO) à une ration riche en concentré a augmenté la digestibilité ruminale apparente de MS (de +11 à +26%) et celle du NDF (de +38 à +48%) par rapport à la même ration sans tampons.

Dans nos expérimentations, les rations ont été supplémentées avec 1% de bicarbonate de sodium, ce qui a probablement contribué à limiter la chute du pH ruminal dans les phases post-prandiales. Ainsi, le pH ruminal n'a pas été modifié par le pourcentage de concentré (voir **articles 1 et 2**) et ses valeurs étaient assez élevées ( $\geq 6,0$ ) pour maintenir l'activité cellulolytique. En cohérence avec l'absence d'effet sur le pH ruminal, l'accroissement du pourcentage de concentré n'a pas eu d'effet significatif sur la production d'AGV dans le rumen ou sur les proportions des AGV (voir **article 1** - Exp.1). Cela, ajouté au fait que ces rations contiennent plus de glucides rapidement fermentescibles (teneurs en amidon: 15,2% L-CS0; 13,3% L-CS20; 24,4% H-CS0; 20,7% H-CS20 - **article 1**), explique qu'en comparaison aux régimes L, ceux riches en concentré soit n'ont pas eu d'effet significatif sur la digestibilité de la MS et des fibres (Exp.2) soit ils ont augmenté la digestibilité ruminale et totale de la MS et des fibres (Exp.1). De plus, les quantités plus importantes de tourteau de soja dans les rations H que les L peuvent fournir une quantité plus élevée de protéines dégradables dans le rumen, ce qui augmente l'activité microbienne, favorisant la digestion des parois (Ueda et al., 2003). La digestibilité ruminale de MS a été augmentée lors de l'utilisation des rations riches en concentré, mais ces rations n'ont pas eu d'effet statistiquement significatif sur la digestibilité ruminale de NDF et ADF, tandis que leur digestibilité totale a été augmentée.

Il faut tenir compte que les différences entre flux duodéal et excrétion fécale des fibres sont liées, entre autres facteurs (comme l'activité microbienne dans le gros intestin), à une plus grande variation des mesures de flux duodéaux que l'excrétion fécale car les flux duodéaux sont estimés à l'aide de marqueur tandis que la production totale de fèces est collectée et pesée.

#### Effet de l'apport de lipides et de la nature des lipides

L'apport de graines de colza (rations CS20) a légèrement augmenté les teneurs en MS des contenus digestifs par rapport aux groupes témoins, mais il n'a pas eu d'effet significatif

sur les teneurs en NDF et ADF ni sur les flux duodénaux et fécaux de MS ou des parois (Tableaux F3 et F4). L'apport des graines de colza a réduit la digestibilité ruminale de la MS, toutefois cette diminution de la digestibilité a été compensée par les processus fermentaires dans les gros intestins, puisque la digestibilité fécale de la MS, du NDF et de l'ADF ont été similaires entre les groupes expérimentaux. Comme évoqué précédemment, la supplémentation lipidique peut réduire la digestibilité des fibres (Jenkins, 1993, Doreau et Chilliard, 1997) et aussi modifier le profil des AGV produits dans le rumen vers une réduction du rapport A/P, comme il a été observé dans cette étude (-12%, 3h après la distribution de l'alimentation - voir **article 1**). Selon Doreau et Chilliard (1997), l'effet négatif de l'apport de lipides végétaux sur la digestibilité ruminale ou fécale des parois est surtout lié à leur effet négatif sur les microorganismes (diminution de la croissance bactérienne, diminution des protozoaires). Toutefois, de manière générale, l'apport lipidique a un effet moins marqué sur la digestibilité que celui de l'apport de glucides ou de la nature des glucides (Jenkins, 1993). Par ailleurs, les teneurs en EE des rations expérimentales n'étaient pas beaucoup plus élevées (valeur maximale : 6,8% H-CS20) que la limite de '5%' de lipides dans la ration en dessous de laquelle l'apport lipidique a peu d'effet sur les microorganismes et donc sur la digestibilité des parois (Doreau et Chilliard, 1997).

Nous n'avons pas observé d'interaction entre pourcentage de concentré et l'addition de lipides en ce qui concerne les flux duodénaux (g/j et /PV), l'excrétion fécale (/PV), la digestibilité ruminale ou totale de MS ou des parois, ce qui suggère que les mécanismes impliqués dans la réduction de la digestibilité des parois par le pourcentage de concentré ou les lipides alimentaires peuvent affecter des populations microbiennes différentes.

Nous n'avons pas non plus observé d'effet de la nature des lipides sur les teneurs en MS, NDF et ADF des contenus digestifs, les flux ou la digestibilité de ces constituants. Les rations L-CS et L-SB étaient iso-lipidiques, et le profil d'AG de la source lipidique, du moins quand des sources riches en acide oléique et linoléique sont comparées, ne semble pas avoir d'effet différent sur la digestibilité ruminale et totale de MS et parois (Kalscheur et al., 1997a, Chouinard et al., 1998).

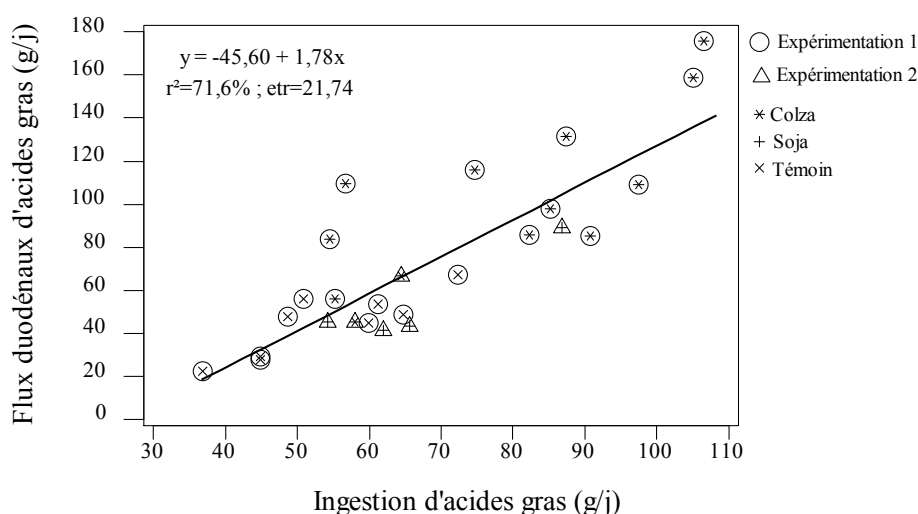
*- Composition des contenus duodénaux, flux et digestibilité ruminale de l'EE et des AGT*

#### Effet du pourcentage de concentré

L'accroissement du pourcentage de concentré a induit une augmentation de la teneur en EE ou en AGT des contenus duodénaux des chèvres, significative dans l'Exp.1 et

numérique dans l'Exp.2 (Tableaux F5 et F13). En conséquence, les flux d'EE et d'AGT ont également été accrus lorsque le pourcentage de concentré a été augmenté (Tableau F5). Ces résultats sont comparables à ceux observées chez des vaches laitières (Kalscheur et al., 1997b, Loor et al., 2004).

### Effet de l'apport de lipides et de la nature des lipides



**Figure F3 :** Relation globale entre l'ingestion d'AGT et les flux duodénaux selon l'addition (colza ou soja) ou non (témoin) de lipides à la ration de deux expérimentations ( $n=18$  chèvres, mais 2 prélèvements pour les chèvres de l'Exp.1).

L'apport de lipides végétaux sous forme de graines de colza laminées (Exp.1) a augmenté les teneurs en EE et d'AGT des contenus duodénaux et leurs flux dans le duodénum. Cette augmentation est manifestement liée à l'accroissement de l'ingestion d'EE ou d'AGT (Figure F3). Dans nos conditions, les flux duodénaux d'AGT chez les chèvres recevant les rations CS20 ont été plus élevés (bilans positifs) que ceux des chèvres recevant les rations CS0 (bilans négatifs). Pratiquement, la digestibilité apparente des AGT a été négative pour les rations CS20 et positive pour les rations CS0. Dans l'Exp.2, la nature de la supplémentation lipidique n'a pas eu d'influence sur les teneurs en EE et AGT des contenus duodénaux (Tableau F13), ce qui s'explique par le fait que les rations L-CS et L-SB avaient les mêmes teneurs en lipides et des niveaux d'ingestion similaires. Cependant, il faut noter que la ration L-SB a induit des bilans duodénaux d'AGT numériquement plus faibles que

ceux de la ration L-CS. Il n'existe pas à notre connaissance, de données rapportant les effets comparés entre des graines de soja et des graines de colza sur les flux duodénaux d'AGT.

L'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport de graine de colza (Exp.1) a significativement accru la teneur en EE et numériquement la teneur en AGT et les flux duodénaux d'EE et d'AGT. Ces résultats confirment ceux obtenus avec des bovins en croissance et ceux réalisés avec des vaches laitières, pour lesquels l'interaction entre le pourcentage de concentré et l'apport d'huile de tournesol (Sackman et al. 2003 ; bovins en croissance), de graine de colza aplatie (Hussein et al., 1996 ; bovins en croissance) ou d'huile de lin (Loor et al., 2004 ; vaches laitières) n'ont pas interagi sur les flux totaux d'AG duodénaux en dépit des valeurs numériquement plus élevées pour les animaux recevant la combinaison d'un pourcentage de concentré élevé et l'apport de lipides. Dans l'Exp.2, nous n'avons pas pu comparer l'interaction entre le pourcentage de concentré et la nature de la supplémentation lipidique, du fait de l'absence de données issues des chèvres du régime H-CS. Cependant, la comparaison des rations H-CS20 (Exp.1) et H-SB (Exp.2) montre que, chez les chèvres alimentées avec la ration H-CS20, les teneurs en AGT sont plus élevées dans le duodénum et les flux duodénaux plus importants (+ 93% par rapport à la ration H-SB) : ceci représente pour partie seulement une conséquence d'une ingestion d'AGT plus élevée dans ce groupe (respectivement +28%/ ration H-SB), puisque les flux duodénaux sont plus fortement accrus (+93% par rapport à la ration H-SB). Ceci suggère des différences pour le métabolisme ruminal des AG entre graines de colza aplaties et graines de soja extrudées.

L'accroissement des flux duodénaux par la supplémentation lipidique dans nos conditions a induit une digestibilité apparente ruminale des AGT plus faible et des bilans duodénaux d'AGT plus élevés chez les chèvres recevant les rations supplémentées en graines de colza, et en particulier pour la ration H-CS20 (+31 g/j, soit environ 30% de l'ingéré). Ces données ne sont pas en accord avec les données obtenues chez les bovins puisque de façon générale, la supplémentation en lipides quelque soit le pourcentage de concentré réduit la bilan duodéal en AG (Hussein et al., 1996, Loor et al., 2004). Ceci est généralement interprété comme une réduction de la synthèse bactérienne de lipides sous l'influence des apports de lipides alimentaires en particulier lorsque la teneur en lipides des rations excède 5% (Doreau et Ferlay, 1994, Sauvant et Bas, 2001). Ainsi, hormis pour les rations exclusivement basées sur des fourrages verts, il est généralement admis qu'avec des rations contenant de faibles teneurs en lipides ajoutés, le flux duodéal d'AG est plus important que le flux d'AG ingéré du fait de la contribution de la synthèse *de novo* d'AG par les bactéries ruminales au flux duodéal d'AG, et/ou de la faible dégradation intra-ruminale des AG

(Jenkins, 1993) et/ou d'une absorption des AG dans le rumen inexistante (Jenkins, 1993, Doreau et Chilliard, 1997, Sauvant et Bas, 2001). De plus, avec des rations sans lipides ajoutés, les teneurs en NDF du régime (et donc les pourcentages de concentré) expliquent une grande partie des variations de la teneur en lipides des bactéries du rumen, qui diminue avec l'accroissement des teneurs en NDF du régime (Bas et al., 2003). Inversement, lors de la supplémentation lipidique, le flux duodéal d'EE ou d'AG peut être inférieur à l'ingestion conduisant à des bilans ruminiaux négatifs (Jenkins 1993, Doreau et Chilliard, 1997, Sauvant et Bas, 2001). Dans ce cas, les bilans ruminiaux négatifs suggèrent soit une diminution de la synthèse *de novo* des lipides par les bactéries ruminales (qui, cependant, s'enrichissent en lipides - Leghay-Carmier, 1989), une absorption des AG par les cellules épithéliales du rumen (l'absorption augmente avec l'augmentation de la concentration en AG, Goosen, 1975) et/ou une dégradation des AG (Doreau et Chilliard, 1997). Si les données de l'Exp.2 sont en accord avec ces hypothèses, nous avons paradoxalement observé des bilans négatifs pour les rations non supplémentées en lipides et des bilans positifs chez des chèvres alimentées avec des rations riches en lipides (Figure F3, Exp.1). Ces bilans positifs dans le cas de rations enrichies en lipides peuvent avoir plusieurs origines :

➤ Dosage chimique: il est possible que l'utilisation de méthodes différentes pour la détermination des teneurs en AG entre les aliments (méthode de Folch, 1957) et les AG duodéaux (Loor et al., 2004) ait contribué pour partie à cette différence. Ceci est confirmé par le fait que les bilans duodéaux de lipides, très positifs pour les rations CS20 (Exp.1) lorsqu'ils sont exprimés sous forme de bilan d'AGT, sont diminués lorsqu'ils sont exprimés sous forme d'EE.

➤ Estimations des flux duodéaux de MS par l'utilisation du chrome : Il est théoriquement possible que l'utilisation du chrome (marqueur non spécifique des phases solide et liquide du rumen) ait pu conduire à une surestimation des flux duodéaux de MS. Ceci est cependant peu probable dans la mesure où cette surestimation ne serait vraiment importante que pour les chèvres recevant des graines de colza (Exp.1). Par ailleurs, cela aurait pu conduire à des biais dans l'estimation des flux duodéaux de NDF et d'ADF, ainsi qu'à des erreurs dans les valeurs de digestibilité ruminales de ces constituants pariétaux. En fait, les valeurs de digestibilité ruminale de ces constituants sont tout à fait dans les plages de variation usuelles rapportées pour ces constituants au sein de rations supplémentées ou non par des lipides chez les bovins.

Enfin, il faut noter que certaines publications ont également rapporté l'absence de modifications des bilans duodéaux d'AG (Wonsil et al., 1994) voire des accroissements de

ces bilans lors d'apport de lipides alimentaires (Christensen et al., 1996) même lorsque ces derniers sont importants (Kalscheur et al., 1997a, Kucuk et al., 2004, Legay-Carmier, 1989, Scholljegerdes et al., 2004).

- Profil en AG des contenus duodénaux

Effet du pourcentage de concentré

a) Biohydrogénation des AG et flux d'AGPI.

Dans nos essais, l'accroissement du pourcentage de concentré n'a pas modifié la proportion du c9,c12,c15-C18:3 dans les AG duodénaux (Exp.1 et Exp.2). Pour le c9,c12-C18:2, ou le c9-C18:1, l'accroissement du pourcentage de concentré a augmenté leur proportion numériquement (Exp.1, ration H-CS0 vs. ration L-CS0) et significativement (Exp.2) : ces phénomènes combinés avec l'accroissement des flux d'AGT ont accru numériquement ou significativement les flux de chacun de ces 3 AG.

Nous n'avons pas calculé la biohydrogénation ruminale (BH<sub>2</sub>) de ces 3 AG pour chaque chèvre, du fait de valeurs individuelles très variables (non présentées), mais nous avons effectué ce calcul (Tableaux F17 et F18) pour les données moyennes de chaque ration par :

$$BH_2 (\%) = 100 * (1 - \text{flux duodéal} / \text{flux ingéré}).$$

**Tableau F17:** Biohydrogénation ruminale des AG à 18 C chez les chèvre laitières alimentées avec des rations à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré supplémentées (CS20) ou non (témoins - CS0) des graines de colza laminées.

Pourcentage de concentré Addition de MG	Bas		Haut	
	Témoin <i>L-CS0</i>	Colza <i>L-CS20</i>	Témoin <i>H-CS0</i>	Colza <i>H-CS20</i>
c9-C <sub>18:1</sub>	74,7	61,5	55,2	66,1
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	86,0	58,1	80,5	68,0
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	92,7	75,7	86,4	77,0



**Tableau F18:** Biohydrogénation ruminale des AG à 18 C chez les chèvre laitières alimentées avec des rations à bas pourcentage de concentré supplémentées avec des graines de colza laminées (L-CS) ou des graines de soja extrudés (L-SB) ou une ration à haut pourcentage de concentré supplémentée avec des graines de soja extrudées (H-SB).

Ration	L-CS	L-SB	H-SB
c9-C <sub>18:1</sub>	67,4	73,0	56,5
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	68,2	83,8	65,0
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	79,2	88,1	72,1

Pour le c9-C<sub>18:1</sub>, le c9,c12-C<sub>18:2</sub>, et le c9,c12,c15-C<sub>18:3</sub>, la BH<sub>2</sub> a été de 64,9, 72,9 et 81,6% respectivement quand les données des Exp.1 et Exp.2 sont réunies. Ces valeurs moyennes par ration sont en accord avec les données publiées qui indiquent qu'indépendamment du régime, l'ampleur de la BH<sub>2</sub> des AG à 18 C est d'autant plus importante que le nombre de double liaisons s'accroît (Kalscheur et al., 1997b, Sauvant et Bas, 2001). Ainsi, Doreau et Chilliard (1997) rapportent des valeurs moyennes de biohydrogénation comprises entre 80 et 92% pour les acides linoléique et linoléique.

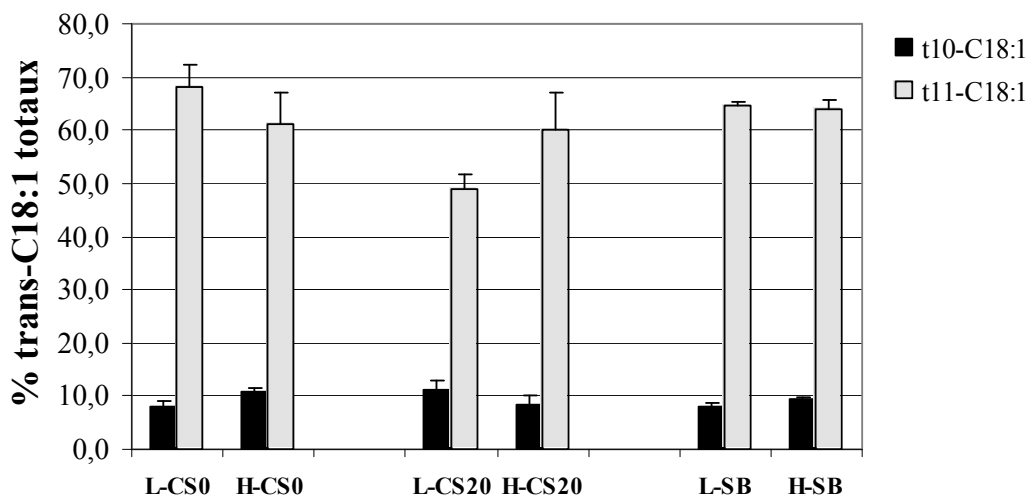
Chez la vache laitière (Kalscheur et al., 1997b, Piperova et al., 2002, Looor et al., 2004) et la brebis (Kucuk et al., 2001) les régimes riches en concentré et/ou en glucides rapidement fermentescibles réduisent la biohydrogénation ruminale des AG. Ces valeurs peuvent être réduites à moins de 60% pour le c9,c12-C<sub>18:2</sub>, et moins de 70% pour le c9,c12,c15-C<sub>18:3</sub> lors de l'utilisation de régimes très riches ( $\geq 70\%$ ) en concentré (Doreau et Chilliard, 1997). Nos résultats sont en accord avec ces données, puisque lorsque le pourcentage de concentré s'accroît, la valeur moyenne de BH<sub>2</sub> a été diminuée de 6% (rations L-CS0 vs H-CS0, Exp.1) et 19% (rations L-SB vs H-SB, Exp.2) pour le c9,c12-C<sub>18:2</sub>. Parallèlement, la BH<sub>2</sub> du c9,c12,c15-C<sub>18:3</sub> a été réduite selon une amplitude équivalente : 7% (rations L-CS0 vs H-CS0, Exp.1) et 16% (rations L-SB et H-SB, Exp.2). Cette réduction de la BH<sub>2</sub> ruminale des AG en relation avec l'accroissement du pourcentage de concentré a été reliée aux modifications des processus fermentaires et en particulier à la réduction marquée du pH ruminal (Kucuk et al., 2001) puisque l'apport de substances tampons permet de restaurer la BH<sub>2</sub> à des valeurs élevées en relation avec la remontée du pH ruminal (Kalscheur et al., 1997b). Dans nos conditions, les variations de la BH<sub>2</sub> induites par l'accroissement du pourcentage de concentré n'ont pu être reliées à celles du pH, ou du rapport A/P, que les mesures aient été effectuées avant ou après repas. Nos résultats confirment donc la possibilité que l'accroissement du pourcentage de concentré induise des variations de la BH<sub>2</sub>

indépendamment de variations du pH comme observé chez la vache laitière (Ueda et al., 2003, Looor et al., 2004), ce qui suggère que la BH<sub>2</sub> ruminale puisse être sensible à des variations fines des populations ruminales induites par l'apport de glucides fermentescibles (Tajima et al., 2001) indépendamment du pH ruminal. Par ailleurs, Kucuk et al. (2001) ont aussi attribué la diminution de la BH<sub>2</sub> à une réduction du temps de séjour dans le rumen ou des particules auxquelles les bactéries sont attachées, ce qui pourrait diminuer le temps de contact entre particules alimentaires et microbes qui constitue l'étape préalable de l'hydrolyse des lipides végétaux pour la biohydrogénation des AG.

b) Isomères *cis* ou *trans* du C18:1.

Dans les 2 essais, la réduction de la BH<sub>2</sub> ruminale des AG a été accompagnée d'une réduction de la proportion du C18:0 dans les AG duodénaux, et elle a accru les proportions des AG *cis*-C18:1 et *trans*-C18:1 dans les lipides duodénaux ainsi que les flux duodénaux de chacun des isomères *cis* ou *trans* (à l'exception de l'isomère t5 - Exp.2). Ainsi, la teneur et le flux duodénaux en *trans*-C18:1 totaux ont été augmentés avec les rations H (Exp.1). Le même type de réponse a été observé lors de l'Exp.2 : les contenus duodénaux des chèvres recevant le régime H-SB étaient plus riches en *trans*-C18:1 totaux, en *cis*-C18:1 totaux, et plus pauvres en C18:0 que ceux des chèvres alimentées avec la ration L-SB. Ces résultats sont à relier à l'accroissement des proportions des *trans*-C18:1 dans les lipides des bactéries ruminales chez des chèvres alimentées avec des rations riches en concentré sans supplémentation lipidique (Bas et al., 2003). Inversement, Kucuk et al. (2001) n'ont pas observé d'accroissement de la teneur en t11-C18:1 des bactéries ruminales en faisant varier le pourcentage de concentré, mais ces bactéries contenaient déjà des proportions très importantes de t11-C18:1 au plus faible apport de concentré, probablement du fait de l'incorporation importante d'huile de soja dans toutes les rations.

Avec les rations H (Exp.1), l'augmentation des proportions et des flux duodénaux des *trans*-C18:1 totaux reflète l'accroissement des proportions de tous les isomères de position de configuration *trans* du C18:1. Toutefois, l'augmentation du pourcentage de concentré n'a pas modifié la contribution du t10- et du t11- (Figure F4) ou des autres isomères aux *trans*-C18:1 totaux dans le duodénum.



**Figure F4:** Pourcentages de t10 et de t11-C18:1 par rapport aux *trans*-C18:1 totaux dans les duodénum des chèvres alimentées avec des régimes à bas (L) ou haut (H) pourcentage de concentré sans supplémentation lipidique (CS0) ou avec des graines de colza laminées (CS20) ou des graines de soja extrudées (SB).

De même, la ration H-SB a augmenté, en comparaison de la ration L-SB (Exp.2), les teneurs en t10-C18:1 et en t11-C18:1 par rapport aux AGT des lipides duodénaux, sans modification des proportions de ces deux AG ni des autres AG *trans* (excepté le t5- et le t12-) par rapport aux *trans*-C18:1 totaux. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus chez la vache laitière: en augmentant le pourcentage de concentré de 35 à 65%, Piperova et al. (2002) ont obtenu un accroissement des flux duodénaux de *trans*-C18:1, du t10-, et du t11- sans que les proportions des isomères *trans* (en particulier celles du t10- et du t11-) au sein des *trans*-C18:1 duodénaux ne soit modifiée si la ration contenait des substances tampons. Réciproquement, la proportion du t10- était multipliée par 5 (Piperova et al., 2002) ou 14 (Loor et al., 2004), lorsque la ration ne contenait pas de bicarbonate, le t10- devenant l'isomère majoritaire des *trans*-C18:1 dans le duodénum. Comme suggéré lors de l'étude de la BH<sub>2</sub>, la présence de bicarbonate dans la ration semble avoir limité les variations de pH et les modifications des équilibres microbiens associés avec les rations contenant une forte proportion de concentré, pouvant ainsi limiter la production trop intense de t10-C18:1 à partir du t10,c12-C18:2 (Loor et Herbein, 2001). Ainsi, l'apport massif de concentré réduit le ratio entre les bactéries cellulolytiques et les bactéries amilolytiques chez les vaches laitières (Latham et al., 1972), ainsi que les populations d' *Anaerovibrio lipolytica* (Tajima et al., 2001) responsable de l'étape initiale d'hydrolyse des lipides végétaux. Des études in vitro (Wang et Song, 2003, Choi et al., 2005) ont montré que dans des conditions de chute brutale

du pH, on observe une augmentation des teneurs en t10-C18:1 et en t10,c12-C18:2 au détriment des t11-C18:1 et c9,t11-C18:2 dans le milieu de culture, et cela est observé quand la ration incubée n'est contient pas de lipides ou lorsque des OP (lin ou soja) sont ajoutés à la ration. Ces données sont par ailleurs en cohérence avec l'accroissement de t10,c12-C18:2 observées in vitro sur des populations ruminales de *Megasphaera elsdenii* prélevées sur des vaches alimentées avec 90% de concentré (Kim et al., 2002) comparativement aux populations issues de vaches alimentées avec de faibles proportions de concentré. Le fait que nous n'ayons pas détecté de t10,c12-C18:2 dans les contenus duodénaux des chèvres recevant les rations H (Exp.1) ou H-SB (Exp.2), associé aux faibles variations de pH et du rapport A/P ruminal suggère que les conditions ruminales n'ont été que modestement modifiées dans nos expérimentations, conduisant à ce que l'accroissement du t10 soit modeste et que l'isomère t11 reste majoritaire dans les flux duodénaux.

c) Isomères conjugués de l'acide linoléique.

Indépendamment des régimes expérimentaux, nous n'avons pas détecté l'isomère t10,c12-C18:2, et les quantités de c9,t11-C18:2 par rapport aux AG duodénaux ont toujours été faibles et inférieures à celles en t11-C18:1 puisque le ratio t11-C18:1/c9t11-C18:2 a toujours été compris entre 60 et 170 (Exp.1) et 6 et 26 (Exp.2) en accord avec des résultats sur des vaches laitières (Piperova et al., 2002, Loor et al., 2004) ou des brebis (Kucuk et al., 2001). Les proportions du c9,t11-C18:2 ont été peu modifiées par les rations H dans l'Exp.1 et plus fortement augmentées dans l'Exp.2, conduisant dans les 2 essais à des flux duodénaux très faibles de cet isomère (toujours inférieur à 0,10 g/j). Chez les vaches laitières, les réponses de ces deux isomères à l'utilisation des rations riches en concentré sont variables : Loor et al. (2004) n'ont pas observé d'effet du pourcentage de concentré sur les flux duodénaux des isomères c9,t11- ni de t10,c12-; en revanche, Piperova et al. (2002) ont obtenu une augmentation des flux duodénaux des t10,c12- et une diminution de c9,t11- avec des rations riches en concentré non supplémentées en substances tampons. De même, Kucuk et al. (2001) ont observé, chez des brebis, des augmentations du t10,c12- et des diminutions du c9,t11- quand le pourcentage de concentré des rations (contenant de l'huile de soja) a été augmenté. Selon Loor et al. (2004), la disponibilité en acide linoléique dans le rumen associée à des proportions d'amidon importantes pourrait conditionner la formation de t10,c12- selon les mécanismes évoqués ci-dessus ; ainsi l'utilisation des rations riches en concentré et supplémentées avec des sources d'acide linoléique serait un des meilleurs moyens d'augmenter les flux de cet isomère des CLA.

## d) AG ramifiés et impairs.

Les proportions des AG ramifiés et impairs des contenus duodénaux ont été diminuées par l'augmentation du pourcentage de concentré de la ration, ce qui montre une réduction de la synthèse microbienne (Vlaeminck, 2005). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus sur des bactéries ruminales des chèvres à l'entretien (Bas et al., 2003) et sur du contenu duodéal des vaches laitières (Loor et al., 2004).

Effet de l'apport de lipides et de la nature des lipides

## a) Biohydrogénation des AG et flux d'AGPI.

Comparativement aux rations témoins (Exp.1), l'apport de graine de colza a réduit la BH<sub>2</sub> (Tableau F17) du c9,c12-C18:2, du c9,c12,c15-C18:3 quelque soit le pourcentage de concentré, ainsi que la BH<sub>2</sub> du c9-C18:1 au sein des rations L mais pas des rations H. Scholljergerdes et al. (2004) ont observé que la biohydrogénation du c9-C18:1 était plus élevée avec des rations pauvres en concentré et supplémentées en graines de carthame riches en acide oléique par rapport à celles riches en linoléique, alors que l'inverse a été observé pour le c9,c12-C18:2. Il est ainsi possible qu'un accroissement de la disponibilité des AG au sein de rations pauvres en concentré, induise une plus importante BH<sub>2</sub>, car l'hydrogénation est un mécanisme utilisé par les microorganismes pour réduire la toxicité des AG polyinsaturés (Scholljergerdes et al., 2004). Réciproquement, les rations riches en lipides peuvent aussi surpasser la capacité de biohydrogénation des microorganismes du rumen, conduisant à une diminution des teneurs en AG saturés, comme observé pour l'Exp.1 (Tableau F6 - réduction des teneurs en C16:0 et en C18:0) et une accumulation des intermédiaires de la biohydrogénation des AGPI (Harfoot et Hazlewood, 1987, Doreau et Chilliard, 1997). Nous n'avons pas observé d'effet de l'addition de CS20 sur les teneurs en c9,c12-C18:2 ni en c9,c12,c15-C18:3 mais leurs flux duodénaux ont été augmentés, en relation avec les niveaux d'ingestion de chacun de ces AG.

Avec les rations contenant du soja, les teneurs en c9,c12-C18:2 dans les lipides duodénaux étaient supérieures lors de l'utilisation d'une ration riche en concentré par rapport à la ration L (L-SB : 8,5% vs. H-SB : 18,0%). Le profil en AG des contenus duodénaux était similaire entre les chèvres recevant les régimes avec différences sources lipidiques (L-SB et L-CS), en dépit de différence des niveaux d'ingestion des AG individuels. Ceci est possiblement à relier à une BH<sub>2</sub> importante des AG ingérés, puisque ces rations étaient

pauvres en concentré (45% de la MS de la ration). Parmi les principaux AG, seuls les pourcentages de c9-C18:1 ont été différents entre les rations à base pourcentage de concentré avec du soja (L-SB) et celles avec du colza (L-CS, Exp.2) : l'ingestion élevée de c9-C18:1 des chèvres alimentées avec la ration L-CS (environ +11 g/j par rapport à la ration L-SB) a probablement contribué à la proportion accrue de cet AG dans le duodénum en comparaison des chèvres recevant la ration L-SB. Bien que les chèvres du groupe L-SB aient ingéré plus de c9,c12-C18:2 (environ +8 g/j) que celles du groupe L-CS, les teneurs de cet AG dans les lipides duodénaux ont été très proches entre les deux groupes ; ceci traduit une BH<sub>2</sub> du c9,c12-C18:2 plus importante, ce qui est confirmé par les proportions plus élevées en AG saturés dans le duodénum en comparaison des chèvres recevant la régime L-CS (Tableau F14). Toutefois, ces différences sont très faibles et le nombre d'animaux réduit limite la portée de ces conclusions.

b) Isomères *cis* ou *trans* du C18:1.

L'apport de CS a augmenté tous les isomères *cis* et *trans* du C18:1 et, en raison de l'augmentation des flux duodénaux de lipides, l'accroissement des flux duodénaux des AG monoinsaturés à 18 C a été beaucoup plus marqué que l'accroissement de leur proportion. On doit souligner que cet effet très marqué sur le C18:1, très supérieur à l'accroissement du flux duodéanal des AGPI reflète une accumulation des intermédiaires de la biohydrogénation des AGPI associée à un plus grand flux d'acide oléique d'origine alimentaire. De manière générale, l'accroissement des *trans*-C18:1 totaux et de chacun des isomères de position, en particulier le t6+7+8- et le t11- sont en accord avec ceux obtenus dans les contenus duodénaux ou ruminiaux des vaches laitières supplémentées en huile de colza non protégée (Loor et al., 2002a, Chelikani et al., 2004) ou sous forme de sels de Ca (Enjalbert et al., 1997) ou avec des sources riches en acide linoléique (Bateman et al., 1998, AbuGhazaleh et al., 2002). L'effet de l'apport lipidique dépend, entre autres facteurs, de la quantité de lipide ajoutée à la ration. Ainsi, Kucuk et al. (2004) ont observé des augmentations linéaires des teneurs des AG insaturés totaux et des *cis* et *trans*-C18:1 totaux dans le duodénum l'huile de soja a été ajoutée selon des quantités comprises entre 0 et 12% de la MS de la ration.

Des études réalisées sur des vaches laitières (Loor et al., 2002a, Loor et al., 2005c) ont montré que le flux des isomères des *trans*-C18:1 totaux produits dans le rumen dépend du profil en AG de la source lipidique ajoutée à la ration. Dans nos conditions (Exp.2), les lipides duodénaux des chèvres alimentées avec les rations L-CS ont présenté des proportions numériquement plus importantes de *trans*-C18:1 totaux que ceux du groupe L-SB, en

désaccord avec les résultats de Kalscheur et al. (1997a) sur des vaches laitières alimentées avec des rations à 40% de concentré et supplémentées en huile de tournesol oléique ou linoléique, pour lesquelles la source de lipide n'a pas eu d'influence sur les flux duodénaux d'AG *trans*. Excepté pour les isomères t5- et le t11-, tous les autres isomères ont été significativement augmentés par la ration L-CS par rapport à la ration L-SB; en conséquence, la source de lipides a eu un effet marqué sur le profil des isomères *trans* par rapport aux *trans* totaux. Le régime L-CS a augmenté les pourcentages de t4-, t6+7+8-, t10- et t12- par rapport aux *trans*-C18:1 totaux, tandis que le régime L-SB a favorisé la production de t11-C18:1, en accord avec des données obtenues avec des vaches laitières alimentées avec des rations supplémentées en huile de colza ou de soja (Loor et al., 2002a). Inversement, au sein de rations riches en concentré, la supplémentation avec de l'huile de tournesol a augmenté les pourcentages de t10-C18:1 dans des lipides duodénaux en comparaison avec l'huile de lin et il n'y avait aucune différence entre ces deux sources de lipides dans les pourcentages de t4- à t9- et t11-C18:1 (Loor et al., 2005c).

La combinaison de l'apport de CS20 et d'un pourcentage de concentré élevé a induit les proportions les plus fortes de chacun des isomères de position *cis* (c6-, c9- et c11-) et de ceux de position *trans* (du t4- au t12-) du C18:1 dans le duodénum, ainsi que les flux duodénaux les plus élevés de ces AG, en particulier pour l'isomère t6+7+8-, et t11-C18:1. L'isomère t10- n'a jamais été présent en quantité très importante dans le duodénum, et sa proportion au sein des *trans*-C18:1 duodénaux a diminué chez les chèvres alimentées avec la ration H-CS20 au profit du t6+7+8-C18:1. Ceci suggère que la production de t10,c12-C18:2 dans le rumen est demeurée très faible dans l'Exp.1, même au sein de ration associant apport d'acide linoléique et apport de concentré (cf ci-dessous). Nos résultats sont en accord avec la majorité des données obtenues chez les autres ruminants qui montrent que l'apport d'AGPI d'origine végétale accroît fortement les flux duodénaux de *trans*-C18:1 ou de l'isomère t11-, (Enjalbert et al., 1997, Kalscheur et al., 1997b, Kucuk et al. 2004, Scholljegeredes et al., 2004) surtout au sein de rations contenant des proportions de concentré importantes (Loor et al., 2004). Cependant dans certaines études apportant des AGPI végétaux sous forme d'huile libre au sein de rations pour lesquels le pourcentage de concentré (contenant de céréales principalement) était très élevé (Duckett et al., 2002, Sackman et al., 2003, Loor et al., 2005c), l'isomère t10- peut devenir majoritaire relativement au t11-C18:1. Dans nos conditions, il est possible que l'apport de graines de colza aplaties ait conduit à une libération lente des AGPI et en particulier de l'acide linoléique, ce qui, associé à une faible proportion

de céréales dans nos rations a orienté les fermentations ruminales vers la production de c9t11-C18:2 et de t11-C18:1 au détriment du t10,c12-C18:2 et du t10-C18:1.

c) Isomères conjugués de l'acide linoléique.

Dans nos conditions (Exp.1), l'apport seul de CS20 sur les teneurs en c9,t11-C18:2 dans le duodénum n'a pas eu d'effet significatif; par contre, la combinaison de l'apport de CS20 et d'un pourcentage de concentré élevé ont numériquement accru la proportion de cet isomère dans le contenu duodénal et significativement son flux duodénal, mais en comparaison aux données sur vaches laitières, son flux est resté faible. En effet, par rapport à des rations non supplémentées en lipides, l'apport d'huile de colza (Chelikani et al., 2004) de soja (AbuGhazaleh et al., 2002) ou de lin (Loor et al., 2004) augmente les flux duodénaux de c9,t11-C18:2 chez les vaches laitières, mais ces variations sont toujours de faible amplitude, ce qui reflète la BH<sub>2</sub> ruminale de cet AG en t11-C18:1. Les lipides duodénaux des chèvres des groupes L-CS et L-SB avaient les mêmes teneurs en c9,t11 (Exp.2). Il est possible que la quantité de lipides ajoutée à la ration ait été trop faible pour modifier les teneurs en c9,t11; de plus, l'effet de la source lipidique est probablement lié au rapport C/F de la ration. En comparaison avec des régimes riches en acide oléique, Scholljerg et al. (2004) ont observé une augmentation des teneurs en t10,c12, mais aucune différence de celles en c9,t11 dans les lipides duodénaux de génisses alimentées avec des régimes à bas pourcentage de concentré et riches en acide linoléique. En revanche, Loor et al. (2002a) ont observé une augmentation des teneurs en c9,t11 dans le rumen des vaches laitières supplémentées en huile de soja par rapport à l'huile de colza. Corroborant la significative mais faible augmentation du t10-C18:1, nous n'avons pas détecté de t10,c12-C18:2, même dans le cas de la ration H-CS20.

d) AG ramifiés et impairs.

Nous avons observé des diminutions des teneurs en AG impairs et ramifiés dans les lipides duodénaux lors de la supplémentation en CS (significatives pour les C15:0, C17:0, i-C16:0, ai-C15:0, ai-C17:0), comme observé quand la concentration d'AG dans le rumen augmente (Doreau et Chilliard, 1997, Sauvante et Bas, 2001). Les rations H-CS20 présentaient les teneurs les plus faibles en ces AG, mais hormis les teneurs en C17:0, nous n'avons pas détecté d'effet significatif de l'interaction entre pourcentage de concentré et apport lipidique.



### 3.5. Conclusions

La composition des contenus digestifs est très liée à la composition des régimes et au niveau d'ingestion des animaux. Ainsi des modifications de certaines des caractéristiques du régime alimentaire peuvent influencer les flux duodénaux de nutriments et, en conséquence, l'apport de nutriments à l'animal. Dans cette étude, la variation du pourcentage de concentré et l'apport lipidique se sont révélés efficaces pour moduler quantitativement et qualitativement les flux duodénaux d'AGT, tout comme la digestibilité ruminale des parois végétales et des lipides, et ces réponses sont apparues identiques qualitativement de celles obtenues sur vaches laitières. Cependant l'interaction entre ces deux facteurs a été rarement significative. Comparées aux rations avec 45% de concentré, celles contenant 65% de concentré ont diminué les flux duodénaux de MS et des parois végétales, ce qui a peut-être contribué à l'augmentation de leurs digestibilités totales, tandis que l'apport lipidique a légèrement diminué la digestibilité ruminale des parois végétales, sans pour autant affecter leur digestibilité fécale. Les flux duodénaux et la digestibilité ruminale de l'EE ont été peu affectés par le niveau d'apport de concentré, mais la supplémentation lipidique a augmenté les flux d'EE et a eu un effet négatif sur sa digestibilité dans le rumen par rapport aux rations témoins. Par contre, la nature de l'apport lipidique, du moins quand les lipides ont été ajoutés à des rations à bas pourcentage de concentré, n'a pas eu d'influence sur les flux et ni sur la digestibilité des lipides ou des parois végétales.

La composition des AG des lipides duodénaux peut également être modifiée par le pourcentage de concentré, l'apport et la nature des lipides végétaux apportés. Les rations riches en concentré et celles supplémentées en graines de colza ont diminué les teneurs en AG saturés (C16:0 + C18:0) et elles ont accru celles des mono-insaturés (*cis* et *trans*-C18:1), démontrant une réduction de l'extension de la biohydrogénation ruminale. Les rations riches en concentré ont augmenté tous les isomères *trans* du C18:1 de la même façon, tandis que l'apport ou la nature des lipides ajoutée à la ration semble modifier ou privilégier des voies du métabolisme des AGPI différentes de celles qui mènent à la production de t11-C18:1 et c9,t11-C18:2, modifiant ainsi le profil des AG *trans*. Toutefois, dans cette étude, l'effet du concentré a été plus important que l'effet de l'apport de lipides sur l'augmentation des flux duodénaux t10- et de t11-C18:1. De plus, indépendamment du régime alimentaire, le t11-C18:1 a toujours été le principal isomère *trans* dans le duodénum, avec des quantités supérieures à celles du t10-C18:1 et très supérieures à celles du c9,t11-C18:2.

Les chèvres alimentées avec la ration H-CS20 ont présenté des flux duodénaux des lipides plus importants que ceux des animaux des autres groupes, ce qui a permis une augmentation significative des flux des AG *trans*, d'acide linoléique et linoléinique. Ceci explique les effets de ce régime sur la forte augmentation des teneurs en *trans*-C18:1 du lait, exposés dans la partie **discussion générale**.

## 4. Aspects métaboliques (Articles 4 et 5)

### 4.1. Expérimentation 1 (Article 4)

Andrade, P.V.D., Schmidely, Ph. (2006). Effect of duodenal infusion of *trans*10,*cis*12-CLA on milk performance and milk fatty acid profile in dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with rolled canola seed. *Reproduction, Nutrition, Développement*<sup>2</sup>, 46, 31-48.

#### Abstract

The effect of t10,c12-C18:2 on milk production, and fatty acids (FA) profile of milk fat was studied in 8 goats infused duodenally with t10,c12-C18:2 (2 g/10 h) during 3 days, followed by a 2-day infusion of skim milk (SM). The goats were assigned to 4 diets in a factorial arrangement constituted by low (L = 45%) or high (H = 65% of the diet DM) percentage of concentrate without (CS0) or with (CS20) rolled canola seed (20% of the concentrate DM). Milk samples were collected before (basal), and during the t10,c12-C18:2 and SM infusions. The t10,c12-C18:2 in milk fat increased from undetectable basal values to an average of 0.39% of total FA in the 3rd day of t10,c12-C18:2 infusion. DMI, milk yield, and the contents and yield of milk fat, protein, and lactose were similar between basal and the t10,c12-C18:2 infusion. The concentration of saturated FA with 4 to 16C did not change during the t10,c12-C18:2 infusion, whereas C18:0 increased, particularly in the milk fat of the CS20 group. The t10,c12-C18:2 infusion increased the t10- and t11-C18:1 (except a reduction in t11-C18:1 for the H-CS20 group), and it decreased the c9,t11-C18:2 in milk fat, particularly for the H-CS20 group. The t10,c12-C18:2 infusion reduced the c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio, particularly for the CS0 group. The results indicate that mammary lipogenesis in dairy goats was not decreased by t10,c12-C18:2, however, the desaturation of long chain FA appeared to be equally affected as in dairy cows. This reduction in the desaturase index of

<sup>2</sup> Le format de l'article (présentation des références, titres et tableaux) a été modifié pour correspondre au format de la thèse. Aucune modification de texte n'a été introduite.

milk fat could have been a direct effect of t10,c12-C18:2, or mediated via an increase in t10-C18:1.

*Key words:* Milk fatty acids; t10,c12-C18:2 infusion; Canola seed; goat

#### 4.1.1. Introduction

Conjugated linoleic acids (CLA) refer to a group of geometrical and positional isomers of linoleic acid (c9,c12-C18:2) with conjugated double bonds. Even though the *cis*9,*trans*11-CLA (c9,t11-C18:2) is the most abundant isomer in dairy products (Yurawecz et al., 1998), recent research has been focused on *trans*10,*cis*12-CLA (t10,c12-C18:2), because it decreases milk fat content (MFC) in dairy cows (Baumgard et al., 2000). The c9,t11-C18:2 isomer in milk originates partly from the ruminal biohydrogenation of linoleic acid, and mostly from the desaturation of the t11-C18:1 fatty acid (FA) via  $\Delta^9$  desaturase in the mammary gland (Bauman et al., 2001). The t10,c12-C18:2 in milk originates exclusively from the rumen, as it is an intermediate of the ruminal biohydrogenation of linoleic acid, particularly when high concentrate diets and/or diets rich in oil are fed (Sackman et al., 2003). The scientific interest for these FA is based on their potential effect on human health: c9,t11-C18:2 and t10,c12-C18:2 could have anti-carcinogenic effects, but t10,c12-C18:2 is also possibly associated with insulin resistance and a decrease in HDL-cholesterol in humans having a metabolic syndrome (Martin and Valeille, 2002).

In dairy cows, feeding CLA supplements protected from ruminal biohydrogenation is a practical way to increase the concentration of these FA in milk and to reduce MFC (Giesy et al., 2002). Abomasal infusions of specific isomers have demonstrated that t10,c12-C18:2 but not c9,t11-C18:2 was responsible for the drop in MFC (Baumgard et al., 2000). In these conditions, the drop in MFC has been mainly attributed to a decrease in the yield and in the proportions of short-chain and medium-chain FA in the mammary gland due to t10,c12-C18:2 (Baumgard et al., 2001, Peterson et al., 2002). Additionally, abomasal infusion of high doses of t10,c12-C18:2 (7 to 15 g/d) but not of low doses (1 to 5 g/d) decreased  $\Delta^9$  desaturase activity, resulting in an increase in t11-C18:1, a decrease in c9,t11-C18:2 concentration in milk and in the oleic FA to stearic FA ratio (Baumgard et al., 2001, Peterson et al. 2002a). So, even though biological mechanisms of t10,c12-C18:2 on mammary lipid metabolism have already been explored, the influence of the diet on the response to t10,c12-C18:2 infusion has rarely been investigated: Loor et al. (2002b) and Loor and Herbein (2003a) demonstrated that

the inhibitory effect of t10,c12-C18:2 on the desaturation of long chain FA in cows is not alleviated by a supplemental dietary supply of unsaturated FA (oleic, linoleic or linolenic acid) or by the percentage of concentrate in the diet.

The differences between goats and cows in the MFC and milk FA profile in response to dietary lipids were recently reviewed (Schmidely and Sauvant, 2001; Chilliard and Ferlay, 2004). Chilliard et al. (2003) and Ferlay et al. (2003) indicated that a sharp increase in t10-C18:1 concentration in milk of goats fed different vegetable oils did not decrease MFC, on the contrary to observations in cows. These data suggest that the response of the mammary lipid metabolism in dairy goats to duodenal infusion of t10,c12-C18:2 could be different to that observed in cows. To our knowledge, there are no data on the effect of duodenal infusion of pure t10,c12-C18:2 on milk fat yield and composition in the dairy goat.

Therefore, the primary objective of this trial was to study the changes in MFC and in the FA profile of milk fat following the duodenal infusion of a high dose of t10,c12-C18:2 in dairy goats. The secondary objective was to test if these changes could be affected by diets differing by the percentage of concentrate and supplemented or not with rolled canola seed, whose combination has been shown to induce large alterations in *trans*-C18:1 FA, c9,t11-C18:2 and t10,c12-C18:2 proportions in dairy cows and goats (Chilliard and Ferlay, 2004).

#### 4.1.2. Materials and Methods

##### *- Goats and diets*

Eight multiparous dairy goats fitted with ruminal and proximal T-type duodenal cannula were used. The goats were straw bedded and group-fed a basal total mixed ration (TMR) that contained on a DM basis 32% dehydrated alfalfa, 30% sugar beep pulp, 18% hay, and 20% of a commercial concentrate (Fluvialac, Agralys Aliment, Chateaudun, France). Throughout the trial, the goats were milked at 0700 and 1600 h. The diets were fed in equal amounts (0800 and 1700 h) and they were offered to provide 5-10% feed refusal.

In mid-lactation ( $65 \pm 5$  DIM), the goats were placed in metabolic crates with wooden floors and they had free access to water and to a trace-mineralized salt block. The goats were used in a 2 x 2 factorial design constituted by a combination of the percentage of concentrate in the DM of the TMR (Low (L) = 45% vs. High (H) = 65%) and the percentage of rolled canola seed (CS) in the DM of the concentrate (CS0 = no CS vs. CS20 = 20% of CS). The

forage part of the TMR was constituted by dehydrated alfalfa and grass hay in a 2:1 proportion. The 4 TMR (Table 1) were formulated using the NEL (Net Energy for Lactation) and PDI (Digestible Protein in the Intestine) feeding systems (INRA, 1989) to meet the requirements of goats producing 4 kg milk and consuming 3 kg DM daily. The goats were switched from the basal TMR to their experimental diet during 2 weeks by progressively increasing the percentage of concentrate for the goats fed the H diets (five days, 1st week), and then by introducing the rolled canola seeds for the goats fed the CS diets (five days, 2nd week). The goats were fed the experimental diets for 11 weeks before starting the infusion period that consequently started at 144 DIM ( $\pm 5$ ).

**Table 1:** Ingredients and chemical composition of the experimental diets ( $n = 2$  samples for each diet)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	Low		High	
	CS0	CS20	CS0	CS20
<i>Ingredients (% DM)</i>				
Dehydrated alfalfa	35.3	35.3	22.0	22.0
Grass hay	17.7	17.7	11.0	11.0
Beet pulp	25.0	25.0	25.0	25.0
Barley	7.3	8.8	14.7	17.6
Corn	8.0	3.5	15.9	6.9
Soybean meal	4.1	3.1	8.2	6.1
Canola seed rolled	0	4.1	0	8.2
Beet molasses	0.6	0.6	1.2	1.2
Minerals and vitamins	1.0	1.0	1.0	1.0
Sodium bicarbonate	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Chemical composition</i>				
DM, %	53.2	53.1	53.7	54.0
Fatty acids, % DM	1.98	2.82	2.15	3.34
CP, % DM	12.4	12.4	13.3	13.4
NDF, % DM	50.0	47.0	37.6	41.9
ADF, % DM	29.4	29.6	21.7	23.7
Starch, %DM	15.9	13.6	24.7	21.1
NE <sub>L</sub> <sup>2</sup> , kcal/kg of DM	1377	1420	1615	1547
PDIN <sup>3</sup> , g/kg of DM	76.5	77.0	83.0	83.0
PDIE <sup>3</sup> g/kg of DM	72.5	74.5	82.0	80.0

<sup>1</sup> Diets with (CS20) or without (CS0) canola seeds.

<sup>2</sup> Calculated from INRA (1989).

<sup>3</sup> PDIN and PDIE = Digestible CP in the intestine from microbial protein synthesis when availability of fermentable N in the rumen is limiting, and from microbial protein synthesis when availability of energy in the rumen is limiting, respectively (INRA, 1989).

*- Infusion procedure*

The total infusion period lasted 2 weeks, and 4 different goats (1 goat for each diet) were infused each week. The infusion of t10,c12-C18:2 emulsions in skim milk was given during 3 consecutive days and followed by a 2 day-infusion of skim milk alone (no t10,c12-C18:2, SM). The duration of each infusion was 10 h per day, starting 1 h after the morning feeding in order to allow maximal intake after the milking, and the infusion was stopped during the night. During the infusion, feed and water were available. During the whole infusion period, the goats were machine milked in the morning, whereas the evening milking was hand milked.

The preparation of the infusions was essentially as described by Loor and Herbein (2003b). To ensure a uniform infusion, the free FA form of the t10,c12-C18:2 (purity 95%, Interchim, Montluçon, France) was emulsified in skim milk the 1st day of each period of infusion in sufficient quantity for 3 days. The t10,c12-C18:2 source was briefly heated to 50°C to ensure a liquid form. The emulsions were then prepared by rehydrating 2400 g skim milk from commercial dehydrated milk powder with tap water (37°C) and t10,c12-C18:2 was added to a final concentration of 10 g/L of reconstituted milk. No glycerol or soy-lecithin was added. The emulsion was then passed through a double-stage homogenizer (Invensys APV, Evreux, France) with a first step pressure of 300 bars and a second step pressure of 30 bars and kept at 4 °C until utilization. The solution of skim milk was prepared similarly at the 4th day of the period. The emulsions were gently shaken and maintained at 37 °C throughout the infusion period. They were infused through the duodenal cannula via a Tygon tube (B-44-4X, 1.6 mm i.d., 3.2 mm o.d., St Gobain, France) connected to a Watson-Marlow peristaltic pump at a rate of 20 mL/h during the 10 h. The flow of the emulsion was checked every hour. This procedure was selected to infuse approximately 2 g t10,c12-C18:2, i.e. 0.03 g/kg of body weight (BW: 63 kg  $\pm$  5). When expressed relatively to DMI, the actual dose was approximately 0.72 g t10,c12-C18:2 /kg of DMI, a value in the upper range of the doses of pure t10,c12-C18:2 (0.05 to 0.75 g CLA /kg of DMI) that significantly inhibited milk fat synthesis in cows (Baumgard et al. 2001, Baumgard et al., 2002, Loor and Herbein, 2003b).

*- Sampling, measurement and analysis*

Two samples of the diets were collected at the end of the period of adaptation to the experimental diets and just before the first period of infusion. One aliquot of each sample was

immediately stored at -20°C and later freeze-dried (72 h) and ground (1 mm) before FA analysis. The other aliquot was dried in a force-air oven at 90 °C, then ground and stored at room temperature until analysis. The NDF and ADF contents of the diets were determined according to the method of Van Soest et al. (1991). Total N of the diets was determined by the microKjeldahl technique. The starch content of the diets was determined by IR spectrophotometry in the laboratory of the feed manufacturer INZO (Château-Thierry, France).

During each period of infusion, the DMI was recorded daily. The individual morning and evening samplings of milk (30 mL per milking) were started the evening before the 1st day of t10,c12-C18:2 infusion and they ended the morning following the last day of SM infusion. Evening and morning milk samples collected before the t10,c12-C18:2 infusion were used as the control (basal values) to test the effect of t10,c12-C18:2 infusion. The samples collected during SM infusion were used to study the reversal changes in mammary metabolism after the cessation to the exposure to t10,c12-C18:2, with a possible carry-over effect of t10,c12-C18:2 infusion during SM infusion. Two individual aliquots of each milk samples (30 mL) were collected. The 1st aliquot containing Bronopol was stored at 4 °C until analysis of fat, CP and lactose. The 2nd aliquot without preservative was stored at -20 °C until analysis of milk fat content and fatty acid profile. Two samples of the t10,c12-C18:2 and SM emulsions were taken immediately after their preparation and they were stored at -20 °C until analysis.

Milk total solids were determined by 72 h freeze-drying. Milk fat, protein and lactose were analyzed by infrared analysis (Milkoscan; Foss Electric, Hillerød, Denmark). Moreover, because milk fat content could be low during t10,c12-C18:2 infusion, the milk fat content of the freeze-dried samples was also determined by chloroform-methanol extraction (2/1) using a Soxtec apparatus 1041 (Tecator, France). The correlation between the two methods was good with  $r^2 = 0.97$ .

The lipid content of the diet was extracted according to Folch et al. (1957). Milk FA were extracted twice from 1 mL of milk with ethanol/12 N HCl/hexane (0.4/0.1/7 mL) and then 7 mL hexane. After filtration, the solution was evaporated. The FA were solubilized in 2 mL hexane and then evaporated. Hexane was then added to obtain a concentration of 10 to 14 mg FA/mL hexane and 1 mL of internal standard solution (tricosanoic acid, C23:0, 0.5 mg/mL) was added to 1 mL of the solution. The FA were methylated at room temperature with a methanolic boron trifluoride solution (14%, wt/vol). Methyl esters of FA were then recuperated in hexane.



Samples of 1 µL hexane containing methyl-esters from milk or feed samples were injected by an auto sampler into a Varian Chromopack CP 3800 gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (Varian SA, Les Ulis, France). Methyl esters were separated on a 100 m x 0.25 mm i.d. fused silica capillary column (CP-Sil 88, Interchim, Montluçon, France). The carrier gas was ultra pure helium with a flow of 1 mL/min. Injector and detector temperatures were maintained at 250 °C. The split ratio in the injector was 20:1. The initial oven temperature was 50 °C (for 1 min), increased 10 °C/min to 170 °C (held for 78 min) and increased 5 °C/min to 220 °C (held for 15 min). Individual FA were identified by comparison of retention time to those of pure FA methyl-ester standards of C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0, C14:0, ai C15:0, c9-C14:1, C15:0, C16:0, c9-C16:1, C17:0, C18:0, t9-C18:1, t11-C18:1, c6-C18:1, c9-C18:1, c11-C18:1, C19:0, t9,t12-C18:2, c9,c12-C18:2, c9,t11-C18:2, t10,c12-C18:2, c6,c9,c12-C18:3, c9,c12,c15-C18:3 (Supelco Inc, Bellefonte, USA). The t6+7+8-C18:1 and t10-C18:1 were identified by order of elution. Correction factors for the possible loss of volatile short-chain FA (C4:0 to C8:0) during analysis were not calculated, which may explain the low values for C4:0 to C8:0 percentage (see results).

#### *- Statistical analysis*

Data for DMI, milk yield and composition, and milk FA concentration obtained during the last two days of t10,c12-C18:2 (day 2 and 3) were averaged per goat, as well as the data obtained during the 2 days of skim milk infusion (SM, day 4 and 5). Data obtained before infusion (basal), during the infusion of t10,c12-C18:2, and during the infusion of skim milk (SM) were analyzed as a factorial design with repeated measures using the MIXED Procedure of SAS (2000). The model included the percentage of concentrate (L vs. H, fixed effect), canola seed (CS20 vs. no CS, fixed effect), percentage of concentrate x canola seed interaction (fixed effect), time (fixed effect), percentage of concentrate x time interaction (fixed effect), canola seed x time interaction (fixed effect), percentage of concentrate x canola seed x time interaction (fixed effect), goat (random effect) and residual error. First order autoregressive [AR(1)] was used as the covariance structure for repeated measurements. The effects of infusion were associated with the effect of time (repeated measures for a same goat, with time=0 for basal, time =1 for t10,c12-C18:2 infusion, and time = 2 for SM infusion). The relevant comparison for the effect of t10,c12-C18:2 infusion was time=1 (t10,c12-C18:2 infusion) vs. time=0 (basal), whereas the comparison between time=1 vs. time=2 (SM infusion) determined eventual carry-over effects of t10,c12-C18:2 during skim milk infusion.

The data for each FA intake were analyzed in a factorial design using the GLM procedure of SAS (2000), with percentage of concentrate, canola seed, and interaction between percentage of concentrate and canola seed as fixed factors.

### 4.1.3. Results

#### - Diet composition

As expected, when compared to the L diets, the H diets had significantly lower NDF and ADF contents, and they had significantly higher NEL values (Table 1). By design, the diets with CS had significantly higher FA contents than the other diets. Unexpectedly, all diets had low CP and PDI values, probably because of an overestimation of the CP content of the ingredients when the diets were calculated. They were all below PDI requirements (INRA, 1989) and slightly below NRC requirements (1981). The fatty acid profile of the diets is presented in Table 2. When compared to the CS0 diets, the CS20 diets had higher oleic acid content and lower linoleic and linolenic acid contents. The concentrations of total *trans*-C18:1, and c9,t11-C18:2 were low. The quantity of c9,t11-C18:2 fed was consequently low and it ranged between 6.55 and 15.6 µg/g of DM.

**Table 2.** Fatty acid profile of experimental diets ( $n = 2$  samples / diet)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	Low		High	
	CS0	CS20	CS0	CS20
Fatty acids	% of total fatty acids			
C <sub>14:0</sub>	0.34	0.17	0.20	0.10
C <sub>16:0</sub>	17.89	9.95	16.39	8.45
c9-C <sub>16:1</sub>	0.40	0.32	0.27	0.32
C <sub>18:0</sub>	1.90	1.69	1.87	1.62
c9-C <sub>18:1</sub>	14.96	43.97	20.48	48.95
Total <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	0.03	0.03	0.02	0.03
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	40.26	26.49	47.10	27.22
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.08	0.07	0.05	0.02
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	20.90	13.36	11.45	9.56

<sup>1</sup> Diets with (CS20) or without (CS0) canola seeds.

*- Fatty acid profile of the emulsions*

The emulsions of t10,c12-C18:2 infused contained almost exclusively t10,c12-C18:2 isomer, with some traces of C14:0 and C16:0. No c9,t11-C18:2 isomer was detectable. The SM solutions only contained very small traces of lipids, which were insufficient to determine their FA profile.

*- DMI, FA intake, milk yield and composition*

During the infusions, the health of the goats was good. Rectal temperature at the end of each day of infusion was  $39 \pm 0.4$  °C and no evident sign of any pain was apparent. The actual rates of infusion were  $20.4 \pm 0.6$  mL/h and  $19.8 \pm 0.6$  mL/h in periods 1 and 2 respectively, which was very close to the target flow.

Before the infusion, the goats fed the H-CS0 diets had the lowest value for raw milk yield, fat yield, protein yield and lactose yield (Table 3): consequently when compared to the L diets, the goats fed the H diets had lower DMI, lower raw milk yield, lower fat yield, lower protein yield, and lower lactose yield. Feeding CS20 diets increased raw milk yield, and fat yield only when goats were fed H diets (interaction F x C:  $P < 0.05$ ). Before the infusion, total FA intake and c9-C18:1 intake were higher for the goats fed the CS20 diets than for the goats fed the CS0 diets (Table 4). The goats fed the L diets had higher c9,c12,c15-C18:3 intake than the goats fed the H diets.

The data on DMI, raw milk yield, MFC and yield, milk protein content and yield, and milk lactose content and yield, obtained during t10,c12-C18:2 infusion did not differ from basal data obtained before any infusion. The DMI, the milk yield and the milk composition were not affected by the interaction between the t10,c12-C18:2 infusion and the dietary factors (Table 3).

**Table 3:** Production parameters of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM)<sup>a</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High							<i>Effects</i> <sup>b,c</sup>							
	CS0			CS20			CS0			CS20				I	C	F	FxC	IxC	IxF	IxFxC	
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM									
DMI, g/d	3209	3078	2984	2811	2906	2907	2468	2477	2324	2398	2117	1972	102	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	
Milk yield, g/d	3950	4101	4278	3600	4095	4383	2425	2456	2570	3850	3223	3311	176	NS	**	+	*	NS	NS	NS	
Milk fat, g/l	29.7	29.5	27.8	29.3	29.7	30.6	38.3	35.9	34.9	30.3	30.6	30.0	1.1	NS	+	NS	+	NS	NS	NS	
Fat yield, g/d	117	121	119	105	122	134	89	86	92	117	100	101	3.3	NS	***	*	*	NS	NS	NS	
Milk protein, g/l	30.3	30.2	29.9	32.7	32.2	32.1	29.0	28.5	28.6	23.8	31.3	31.7	0.7	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Protein yield, g/d	120	124	127	118	132	141	86	88	93	92	98	102	4.2	NS	***	*	NS	NS	NS	NS	
Milk lactose, g/l	50.0	49.8	50.5	51.1	51.2	51.7	48.1	49.5	50.0	45.2	51.0	51.4	0.6	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Lactose yield, g/d	198	204	214	184	208	227	118	124	143	174	162	168	9.0	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	

<sup>a</sup> Basal data were collected before CLA infusion. Data for CLA infusion were the means of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> day of infusion. Data for SM infusion were the means of the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day of infusion.

<sup>b</sup> I: infusion effect; C: effect of percentage of concentrate, F: effect of fat addition, FxC: interaction between fat addition and percentage of concentrate, IxF: interaction between infusion and fat addition; IxC: interaction between infusion and percentage of concentrate, IxFxC: interaction between infusion, fat addition and percentage of concentrate.

<sup>c</sup> NS: non significant. +, \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.10, 0.05, 0.01$  and  $0.001$ , respectively.

**Table 4:** Fatty acid intake of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat supplementation	Low		High		sem	<i>Effects</i> <sup>2,3</sup>		
	CS0	CS20	CS0	CS20		C	F	FxC
Fatty acid								
C <sub>14:0</sub>	0.22	0.13	0.11	0.08	0.01	***	**	*
C <sub>16:0</sub>	11.37	7.89	8.70	6.77	0.04	*	*	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0.25	0.25	0.14	0.26	0.01	*	*	*
C <sub>18:0</sub>	1.21	1.34	0.99	1.30	0.04	NS	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	9.5	34.9	10.9	39.2	2.72	NS	***	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	25.6	21.0	25.0	21.8	0.76	NS	NS	NS
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	13.3	10.6	6.1	7.7	0.62	**	NS	*
Total	63.5	79.3	53.1	80.0	2.85	NS	**	NS

<sup>1</sup> Data presented are the means before the t10,c12-C18:2 infusion.

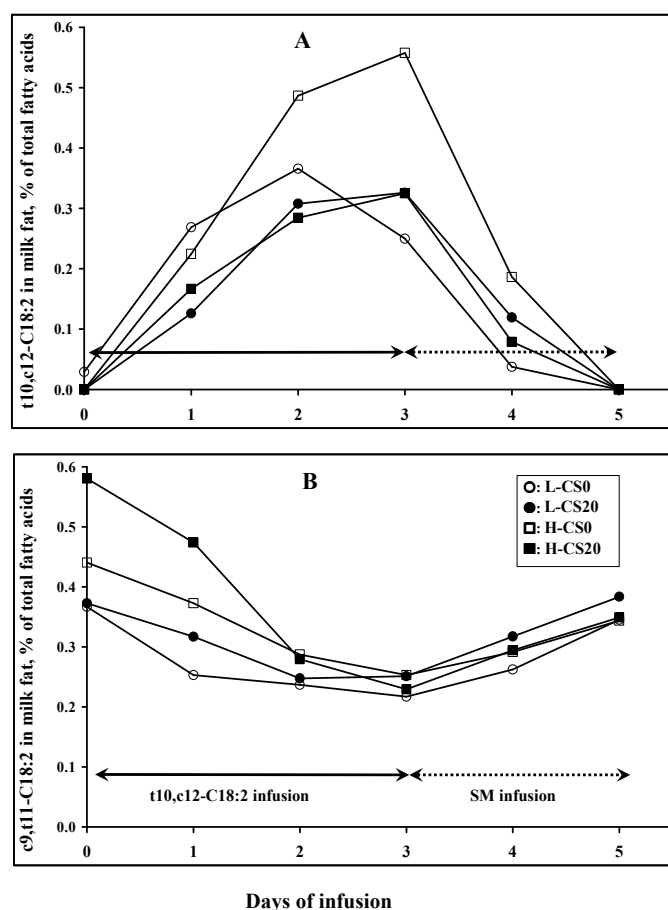
<sup>2</sup> C: effect of percentage of concentrate, F: effect of fat addition, FxC: interaction between fat addition and percentage of concentrate.

<sup>3</sup> NS: non significant. \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.05$ ,  $0.01$  and  $0.001$ , respectively.

#### - Milk fatty acids profile

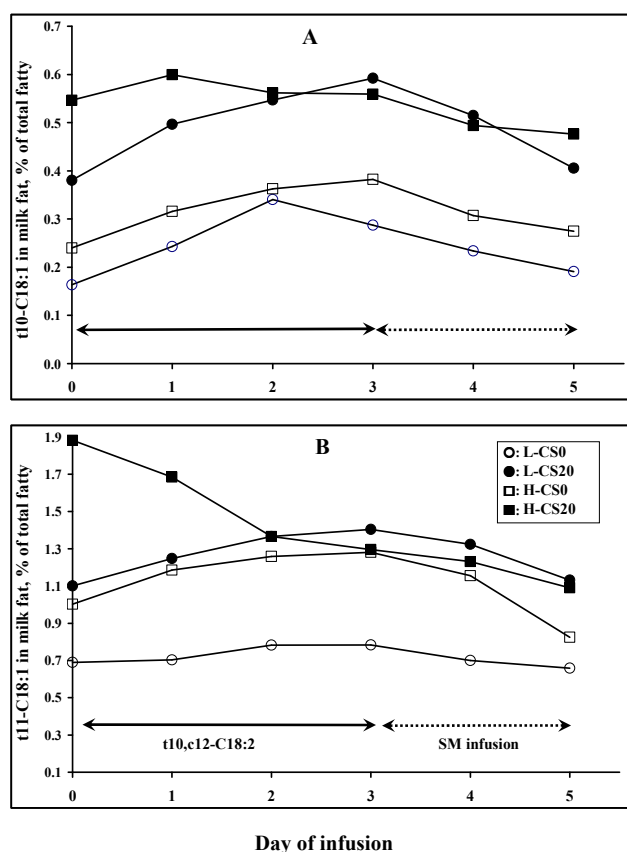
Before the infusion (Table 5), when compared to the goats fed the L diets, the goats fed the H diets tended to have higher concentrations of C4:0 and C6:0 in milk, and they had significantly higher concentrations of C18:0, all *trans*-FA with 18 C units, and c9,t11-C18:2; this occurred at the expense of the concentration of saturated FA between 11 and 17 C units, and of c9-C14:1, c9-C16:1, c9,c12-C18:2 and c9,c12,c15-C18:3 in milk fat. The ratios of c9-C16:1/C16:0, c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 were reduced in milk fat of the goats fed the H diets (Table 6). Before the infusion, when compared to the goats fed the CS0 diets, the goats fed the CS20 diets had higher concentrations of C18:0, all *trans*-FA with 18 C units, c9-C18:1, c9,t11-C18:2, and c9,c12,c15-C18:3; this occurred at the expense of the concentration of saturated FA with 11 to 17 C units and of c9-C14:1, c9-C16:1 in milk fat. The ratios of c9-C16:1/C16:0, c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 were reduced in milk fat of the goats fed the CS20 diets (Table 6). The goats fed the H-CS20 diet tended to have the highest concentrations of t9-C18:1 and t10-C18:1 in milk fat (interaction F x C:  $P < 0.10$ ).

Before the infusion, the t10,c12-C18:2 was not detectable in milk fat (Figure 1), except at a very low level in the milk from one goat fed the L-CS0 diet. It became detectable in milk fat at the first evening milking, and it progressively increased until the 3rd day of the t10,c12-C18:2 infusion to reach an average value of 0.39% (SEM = 0.1) of total FA (Figure 1), which was not affected by dietary factors (Table 5). Its concentration decreased thereafter, to be below the detectable level at the 2nd day of the SM infusion. The average yield of t10,c12-C18:2 during the infusion (day 2 and 3) was 0.35 g/d (SEM = 0.02), and it was not affected by dietary factors. The comparison of the amount of t10,c12-C18:2 infused and its secretion in milk indicated that the transfer efficiency of t10,c12-C18:2 was 17.8% (SEM = 2.1). The concentration of c9,t11-C18:2 in milk fat was progressively reduced during the t10,c12-C18:2 infusion to a average value of 0.25% (SEM = 0.05) of total FA (Figure 1). Its decrease was the highest for the goats fed the H-CS20 diets (interaction I x F x C:  $P < 0.05$ ). At the end of the SM infusion, c9,t11-C18:2 remained below its basal value, particularly for the goats fed the H-CS20 diets.



**Figure 1:** Temporal pattern of the proportion of t10,c12-C18:2 (panel A) and c9,t11-C18:2 (panel B) in milk from goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●, ■) or without (CS0: ○, □) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2 or skim milk (SM). SEM were 0.04 and 0.02 % for the t10,c12-C18:2 and c9,t11-C18:2, respectively.

The concentration of even-numbered saturated FA with 4 to 16 C units was not affected by the t10,c12-C18:2 infusion or by the interaction between the t10,c12-C18:2 and the dietary factors (Table 5). The C18:0 concentration in milk fat increased during the t10,c12-C18:2 infusion, particularly for the goats fed the CS20 diets (interaction I x F:  $P < 0.05$ ) that had the highest concentration of C18:0 before infusion (effect of fat:  $P < 0.01$ ). During the SM infusion, its concentration was greater than the basal value in all groups. The concentration of c9-C14:1, c9-C16:1 ( $P < 0.10$ ), and c9-C18:1 decreased during t10,c12-C18:2 infusion, independently of their basal values. The concentration of these 3 monounsaturated FA returned to their basal value by the end of the SM infusion. The concentration of t10-C18:1 increased progressively during the t10,c12-C18:2 infusion (Figure 2). By the end of the SM infusion, the concentration of t10-C18:1 was higher than its basal value, except for the goats fed the H-CS20 diet. The concentration of t11-C18:1 tended to increase ( $P < 0.10$ ) during the t10,c12-C18:2 infusion (Figure 2), except for the goats fed the H-CS20 diet (interaction I x F x C:  $P < 0.10$ ) that had the highest concentration for this FA before infusion.

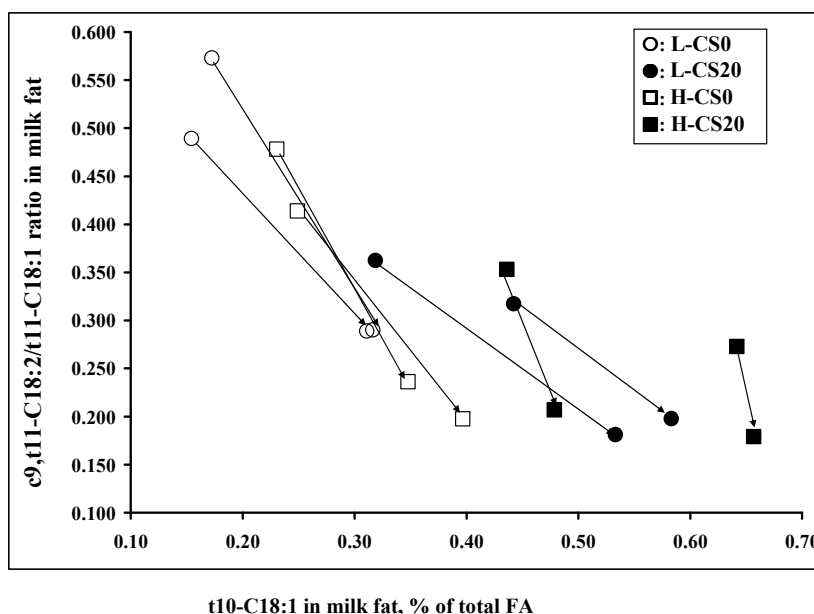


**Figure 2:** Temporal pattern of the proportion of t10-C18:1 (panel A) and t11-C18:1 (panel B) in milk fat from goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●, ■) or without (CS0: ○, □) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2 or skim milk (SM). SEM were 0.03 and 0.06 % for the t10-C18:1 and t11-C18:1 respectively.

The concentration of odd-numbered FA with 11 or 13 C units decreased during the t10,c12-C18:2 infusion and it remained below the basal value at the end of the SM infusion.

The ratios of c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 were reduced by the t10,c12-C18:2 infusion (Table 6), and their values at the end of the SM infusion were lower than those before the infusion. The decrease in the ratios of c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 during the t10,c12-C18:2 infusion was higher for the goats fed the CS0 diets than for the goats fed the CS20 diets (interaction I x F:  $P < 0.01$  and  $P < 0.05$  for c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1, respectively). During the t10,c12-C18:2 infusion, the ratio of c9,t11-C18:2/t11-C18:1 and the concentration of t10-C18:1 in milk fat were inversely related (Figure 3) with a within-goat relationship ( $n = 8$  goats) calculated using the GLM procedure of SAS (2000) as:

$c9,t11-C18:2/t11-C18:1 = 0.69 (\pm 0.067) - 1.30 (\pm 0.226) \times t10-C18:1$ ,  $R^2 = 0.88$ ,  $RMSE = 0.06$ , which indicated that c9,t11-C18:2/t11-C18:1 in milk fat decreased by 0.13 for each 0.10% increase in the proportion of t10-C18:1 in milk fat.



**Figure 3:** Within-goat relation between c9,t11-C18:2/t11-C18:1 and t10-C18:1 percentage in milk of goats fed low (L: ●, ○) or high (H: ■, □) percentage of concentrate diets in combination with (CS20: ●, ■) or without (CS0: ○, □) canola seeds and infused into the duodenum during 10 h with t10,c12-C18:2. Each couple of points represents the data by goat before the start of infusion (Basal, start of the arrow) and for the t10,c12-C18:2 infusion (end of the arrow).



**Table 5:** Fatty acid profile (% of total fatty acids) in milk of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High						sem	<i>Effects</i> <sup>2,3</sup>						
	CS0			CS20			CS0			CS20				I	C	F	FxC	IxC	IxF	IxFxC
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM								
C <sub>4:0</sub>	0.72	0.77	0.77	1.34	0.95	0.95	1.44	1.33	1.37	1.30	1.50	1.56	0.09	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS
C <sub>6:0</sub>	1.01	1.01	1.01	1.62	1.16	1.11	1.81	1.81	1.68	1.44	1.58	1.47	0.11	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS
C <sub>8:0</sub>	1.46	1.59	1.45	2.26	1.52	1.52	2.36	2.40	2.18	1.75	1.78	1.66	0.12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C <sub>10:0</sub>	7.62	7.91	7.31	8.44	6.00	6.20	9.72	9.47	9.15	6.16	6.00	5.80	0.42	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
C <sub>11:0</sub>	0.26	0.18	0.21	0.21	0.09	0.13	0.26	0.16	0.17	0.12	0.04	0.08	0.02	**	*	***	NS	NS	NS	NS
C <sub>12:0</sub>	5.88	5.83	5.56	3.91	3.13	3.27	4.45	4.35	4.29	2.54	2.48	2.47	0.27	NS	***	***	NS	NS	NS	NS
C <sub>13:0</sub>	0.26	0.19	0.21	0.13	0.10	0.12	0.16	0.13	0.13	0.11	0.03	0.04	0.01	*	***	***	NS	NS	NS	NS
C <sub>14:0</sub>	13.56	13.54	13.71	9.87	9.68	10.28	11.82	11.73	12.46	8.46	8.12	8.63	0.46	NS	*	**	NS	NS	NS	NS
i C <sub>14:0</sub>	0.15	0.15	0.14	0.11	0.10	0.10	0.07	0.07	0.07	0.01	0.03	0.03	0.01	NS	***	**	NS	NS	NS	NS
c9-C <sub>14:1</sub>	0.24	0.14	0.21	0.06	0.03	0.03	0.12	0.08	0.11	0.01	0.01	0.03	0.02	***	***	***	*	NS	NS	NS
C <sub>15:0</sub>	1.55	1.45	1.53	1.22	1.19	1.19	1.21	1.14	1.15	0.82	0.72	0.82	0.06	NS	***	***	NS	NS	NS	NS
ai C <sub>15:0</sub>	0.43	0.42	0.42	0.37	0.34	0.35	0.36	0.34	0.33	0.25	0.25	0.26	0.01							
C <sub>16:0</sub>	36.04	36.63	37.37	23.59	24.69	26.08	35.18	34.26	35.29	22.33	21.88	21.42	1.37	NS	*	**	NS	NS	NS	NS
i C <sub>16:0</sub>	0.39	0.37	0.38	0.38	0.38	0.36	0.35	0.33	0.30	0.26	0.25	0.26	0.01	NS	**	*	+	NS	NS	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0.85	0.67	0.89	0.37	0.35	0.39	0.61	0.58	0.61	0.29	0.27	0.30	0.04							
C <sub>17:0</sub>	1.18	1.03	1.09	0.82	0.87	0.88	0.89	0.83	0.86	0.61	0.62	0.60	0.04	NS	**	**	NS	NS	NS	NS
ai C <sub>17:0</sub>	0.37	0.37	0.38	0.39	0.41	0.39	0.40	0.39	0.35	0.33	0.33	0.33	0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C <sub>18:0</sub>	5.23	8.22	6.11	12.84	18.69	14.65	6.52	10.24	8.47	16.93	23.50	17.53	1.19	***	**	***	NS	NS	NS	NS

**Table 5:** (continued)

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High						sem	<i>Effects</i> <sup>2,3</sup>						
	CS0			CS20			CS0			CS20				I	C	F	FxC	IxC	IxF	IxFxC
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM								
t6,7,8-C <sub>18:1</sub>	0.11	0.12	0.13	0.36	0.44	0.40	0.16	0.18	0.17	0.62	0.53	0.51	0.04	NS	**	***	NS	NS	NS	NS
t9-C <sub>18:1</sub>	0.17	0.14	0.14	0.34	0.34	0.35	0.19	0.18	0.19	0.58	0.40	0.44	0.03	NS	**	***	+	NS	NS	NS
t10-C <sub>18:1</sub>	0.16	0.31	0.23	0.38	0.56	0.46	0.24	0.38	0.30	0.54	0.56	0.48	0.03	**	*	***	+	NS	NS	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	0.69	0.78	0.69	1.10	1.37	1.23	1.02	1.27	1.14	1.88	1.33	1.16	0.06	+	**	***	NS	NS	NS	+
t12-C <sub>18:1</sub>	0.15	0.16	0.16	0.41	0.46	0.45	0.27	0.26	0.27	0.70	0.60	0.57	0.04	NS	*	**	NS	NS	NS	NS
c6-C <sub>18:1</sub>	0.31	0.26	0.24	0.60	0.61	0.58	0.33	0.36	0.37	0.71	0.72	0.68	0.04	NS	*	***	NS	NS	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	13.30	10.33	12.32	20.73	17.92	19.73	13.23	10.72	11.99	22.25	18.361	22.33	0.96	*	NS	**	NS	NS	NS	NS
c11-C <sub>18:1</sub>	0.44	0.42	0.44	0.59	0.62	0.64	0.37	0.39	0.40	0.63	0.58	0.63	0.03	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0.24	0.19	0.24	0.32	0.29	0.31	0.22	0.15	0.16	0.30	0.23	0.29	0.01	NS	+	**	NS	NS	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	2.82	2.49	2.62	2.48	2.55	2.78	2.47	2.38	2.42	2.04	2.07	2.29	0.06	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.37	0.23	0.28	0.37	0.26	0.35	0.44	0.27	0.31	0.58	0.25	0.32	0.02	***	**	**	NS	NS	NS	*
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	0.03	0.31	0.02	ND	0.31	0.06	ND	0.52	0.15	ND	0.30	0.04	0.04	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
c9,12,15-C <sub>18:3</sub>	0.88	0.81	0.85	0.90	1.00	1.01	0.50	0.52	0.52	0.60	0.63	0.65	0.04	NS	***	**	NS	NS	NS	NS
Unidentified	2.32	2.19	2.22	2.87	2.87	3.01	2.24	2.25	2.20	3.32	3.15	3.11	0.11	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS

<sup>1</sup> Basal data were collected before CLA infusion. Data for CLA infusion were the means of the 2nd and 3rd day of infusion. Data for SM infusion were the means of the 4th and 5th day of infusion.

<sup>2</sup> I: infusion effect; C: effect of percentage of concentrate, F: effect of fat addition, FxC: interaction between fat addition and percentage of concentrate, IxF: interaction between infusion and fat addition; IxC: interaction between infusion and percentage of concentrate, IxFxC: interaction between infusion, fat addition and percentage of concentrate. <sup>3</sup> NS: non significant, +, \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.10, 0.05, 0.01$  and  $0.001$ , respectively.

**Table 6:** Ratio of fatty acids in milk of dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with (CS20) or without (CS0) canola seeds before (Basal), and during 10h-duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High						sem	Effects <sup>2,3</sup>							
	CS0			CS20			CS0			CS20				I	C	F	FxC	IxC	IxF	IxFxC	
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM									
c9-C <sub>16:1</sub> /C <sub>16:0</sub>	0.023	0.018	0.024	0.016	0.014	0.015	0.017	0.017	0.017	0.013	0.012	0.014	0.001	NS	*	**	NS	NS	NS	NS	
c9-C <sub>18:1</sub> /C <sub>18:0</sub>	2.55	1.25	2.01	1.62	0.95	1.35	2.03	1.05	1.43	1.32	0.77	1.278	0.10	***	**	**	+	NS	**	NS	
c9,t11-C <sub>18:2</sub> / t11-C <sub>18:1</sub>	0.53	0.29	0.41	0.34	0.19	0.29	0.45	0.22	0.29	0.31	0.19	0.28	0.02	***	*	**	+	NS	*	NS	

<sup>1</sup> Basal data were collected before CLA infusion. Data for CLA infusion were the means of the 2nd and 3rd day of infusion. Data for SM infusion are the means of the 4th and 5th day of infusion.

<sup>2</sup> I: infusion effect; C: effect of percentage of concentrate, F: effect of fat addition, FxC: interaction between fat addition and percentage of concentrate, IxF: interaction between infusion and fat addition; IxC: interaction between infusion and percentage of concentrate, IxFxC: interaction between infusion, fat addition and percentage of concentrate.

<sup>3</sup> NS: non significant, +, \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.10, 0.05, 0.01$  and  $0.001$ , respectively.

#### 4.1.4. Discussion

In our study, the goats fed the H-CS0 diet had the lowest milk yield, which is in contrast of data reviewed by Schmidely and Sauvant (2001). This was due to one goat that had a very low milk production from the middle of the trial, without any DMI decrease. Possibly, this could have partly affected the study of interaction between t10,c12-C18:2 infusion and the 4 diets, but we are not aware of data reporting the effect of raw milk yield on the response to t10,c12-C18:2 infusion.

Increasing the percentage of concentrate in our study decreased medium-chain saturated FA (11 to 16 C units), and it increased t6+7+8-C18:1 as well as t9 to t12-C18:1, and c9,t11-C18:2 as previously observed in dairy goats (LeDoux et al., 2002, Chilliard and Ferlay, 2004). Feeding CS20 diets in our trial decreased C10:0 to C14:0 and C16:0 and it increased all *trans* monoene FA with 18 C units (especially t10 and t11-C18:1) as well as c9,t11-C18:2, in line with data reviewed by Chilliard et al. (2003) and Chilliard and Ferlay (2004).

The primary aim of this trial was to study the possible changes in MFC and in the FA profile of milk fat during the t10,c12-C18:2 infusion in dairy goats, and the second objective was to test if these changes could be affected by diets differing by the percentage of concentrate and the fat supplementation. In dairy cows, the abomasal infusion of mixtures of CLA (Loor and Herbein, 1998) or of pure isomers (Chouinard et al., 1999) has been used to bypass the biohydrogenation of the CLA during the fermentation process in the rumen. It has been shown to be a convenient way to determine that t10,c12-C18:2 was the effective isomer to reduce MFC (Baumgard et al., 2000, Perfield et al., 2004). To our knowledge, no comparable study has been conducted in dairy goats, a species which is known to have some particularities for FA metabolism in the mammary gland (Schmidely and Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003). In our conditions, when compared to the basal data obtained before starting the CLA infusion, no effect of the duodenal infusion of a high dose of t10,c12-C18:2 was observed on the MFC or the fat yield, despite a high t10,c12-C18:2 concentration in the milk (see below). Some methodological considerations may be addressed that could partially explain such differences. Abomasal continuous t10,c12-C18:2 infusion was performed for 20 to 24 h in most of the studies on cows (Baumgard et al., 2000, Peterson et al., 2002a, Loor and Herbein, 2003b) in contrast of our trial where a discontinuous infusion was selected. However, in some studies with cows (Perfield et al., 2004, De Veth et al., 2004), the t10,c12-C18:2 infusion was discontinuous with 4 periods of infusion of unknown duration separated

by an interval of 6 h, but the decrease in MFC and in the fat yield was similar to that observed with continuous infusion. Moreover, we also observed a 17.8% transfer efficiency of the t10,c12-C18:2 into milk fat, which is close to the value of 21.7% obtained by de Veth et al. (2004) when pooling data from six different studies. This suggests that the availability of t10,c12-C18:2 in the mammary gland was high in our trial. Indeed, a high mammary gland extraction ratio (80%) of t10,c12-C18:2 from plasma triglyceride and free FA was observed during the t10,c12-C18:2 infusion in cows (Loor and Herbein, 2003b). Practically, the average concentration of t10,c12-C18:2 in milk fat during days 2 and 3 of the infusion was 0.39% of total FA, with a maximal value of 0.53% of total FA in the milk fat of the goats fed the H-CS0 diet. This average concentration was in the range of the concentrations of t10,c12-C18:2 that induced a dramatic decrease in the milk fat synthesis in dairy cows (Baumgard et al., 2001, Baumgard et al., 2002, Loor and Herbein, 2003b).

When compared with dairy cows, the milk FA composition was differently altered by the t10,c12-C18:2 infusion in goats. In dairy cows, the decrease in the MFC and in the fat yield were largely related to a decrease in the yield and in the percentage of short to medium chain saturated FA (Baumgard et al., 2000). The highest decreases in short to medium-chain saturated FA were observed with the highest doses of t10,c12-C18:2 infused (Baumgard et al., 2001, Peterson et al., 2002a, Mackle et al., 2003). However, in our trial no effect on MFC was observed whatever the diet, probably because the synthesis of even-numbered saturated FA with 4 to 16 C was not decreased despite a high t10,c12-C18:2 concentration in milk fat. Recently, Baumgard et al. (2002) demonstrated that the mechanism by which t10,c12-C18:2 decreased the secretion of short to medium-chain FA in the milk of cows involved a reduction in the mRNA abundance for the genes encoding acetyl-CoA Carboxylase, and Fatty Acid Synthetase, which are two key enzymes in *de novo* synthesis by the mammary gland. Our results indicate that the activity of these two enzymes was probably not reduced by the duodenal infusion of 2 g per day of t10,c12-C18:2. Goats fed 11 g per day of rumen-protected t10,c12-C18:2 (Gulati et al., 2000) had higher concentration of t10,c12-C18:2 in milk fat (2.5% wt/wt) than those observed in our study, and they had lower concentration of FA with 10 to 14 C units, but the changes in the MFC and in the fat yield were not reported. This suggests that, when compared to cows, the biochemical pathways of *de novo* lipogenesis in the mammary gland of goat could necessitate higher concentration of t10,c12-C18:2 in milk fat to be altered.

In mammary gland of ruminant (Chilliard et al., 2003), monounsaturated FA arise either from direct uptake from blood stream, or from desaturation of saturated FA via a  $\Delta^9$

desaturase (Stearoyl-CoA Desaturase). The C14:0, C16:0, C18:0 but also t11-C18:1 FA are substrates for  $\Delta^9$  desaturase in the mammary gland introducing a double bond to produce c9-C14:1, c9-C16:1, c9-C18:1, and c9,t11-C18:2 respectively (Bauman et al., 2001), which are essential to maintain milk fat fluidity and secretion. Consequently, product to substrate ratios of c9-C14:1/C14:0, c9-C16:1/C16:0, c9-C18:1/C18:0, and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 represent a desaturase index and they serve as a proxy for  $\Delta^9$  desaturase activity. In dairy cows, the infusion of a high dose (Baumgard et al., 2001, Baumgard et al., 2002, Mackle et al., 2003) but not of a low dose (Baumgard et al., 2001, Peterson et al., 2002a, De Veth et al., 2004) of t10,c12-C18:2 reduced desaturase indexes in milk fat. Baumgard et al. (2002) demonstrated that the mechanism by which t10,c12-C18:2 decreased these substrate to product ratios involved a reduction in the mRNA abundance of  $\Delta^9$  desaturase in the mammary gland. During the t10,c12-C18:2 infusion, we observed an increase in the saturation of the milk fat of all groups of goats, as indicated by the decrease in the concentration of c9-C16:1 (with no change in C16:0), by the decrease in the concentration of c9-C18:1 and c9,t11-C18:2 and the increase in C18:0. Consistently, there was also an increase in the concentration of the t11-C18:1, with the exception of the goats fed the H-CS20 diets. Our results demonstrated that the extent of desaturation of plasma derived C18:0 and t11-C18:1 was dramatically decreased by the infusion of 2 g/d of t10,c12-C18:2, in line with data from dairy cows infused with high doses of t10,c12-C18:2. We also demonstrated that the desaturation of t11-C18:1 to c9,t11-C18:2 and C18:0 to c9-C18:1 was equally sensitive to t10,c12-C18:2, with a mean reduction of 45% across diets. When compared to the similar doses of t10,c12-C18:2 infused in dairy cows (g/kg DMI), this reduction in the desaturation index is in agreement with data of Baumgard et al. (2001), but it is much higher than that reported by Baumgard et al. (2002) and Loor and Herbein (2003b) who indicated that the ratios of c9-C18:1 to C18:0 and c9,t11-C18:2 to t11-C18:1 decreased by 6 to 17% and 12 to 25%, respectively. Moreover, our results also indicate that the decrease in the c9-C18:1 concentration and the reduction of c9-C18:1/C18:0 ratio in milk fat do not appear to be sufficient to reduce milk fat yield in dairy goats. In dairy cows, a reduction in the  $\Delta^9$  desaturase activity is not necessary to depress the MFC (Baumgard et al., 2001, De Veth et al., 2004).

The differences between trials in the reduction in the  $\Delta^9$  desaturase activity following the t10,c12-C18:2 infusion could be modulated by species differences, stage of lactation, and diet-induced changes in the basal level of its activity. Indeed, the extent of desaturation of C18:0 and t11-C18:1 before the infusion was higher in the milk of the goats fed the CS0 diet

than in those fed the CS20 diet. This indicates that the  $\Delta^9$  desaturase activity index was inversely related with c9-C18:1 intake. Consequently, the decrease in the ratio of c9,t11-C18:2/t11-C18:1 or c9-C18:1/C18:0 during t10,c12-C18:2 infusion was lower in the milk of goats fed the CS20 diets, suggesting that the decrease of the  $\Delta^9$  desaturase activity during t10,c12-C18:2 infusion depends on its basal activity which could be modulated by the FA composition of the diet. Loor and Herbein (2003b) observed that the reduction in the ratio of c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 in milk during t10,c12-C18:2 infusion was not affected by the dietary fat in dairy cows fed high-oleic or high-linoleic oil. These differences are possibly related to the different design of the 2 experiments: during the t10,c12-C18:2 infusion, the diets had a similar FA content in the trial of Loor and Herbein (2003b), whereas in our experiment, the 2 diets differed for their FA contents.

When no t10,c12-C18:2 was detectable in milk fat (basal value), the goats fed the CS0 diets had higher ratio of c9,t11-C18:2/t11-C18:1 or c9-C18:1/C18:0 and a lower concentration of t10-C18:1 in milk fat than the goats fed the CS20 diets. Independently of the dietary factors, the concentration of t10-C18:1 in milk fat was increased during the t10,c12-C18:2 infusion as observed in dairy cows (Baumgard et al., 2001, Baumgard et al., 2002). The decrease in desaturase index during t10,c12-C18:2 infusion was more marked in the milk fat of the goats fed the CS0 diets, probably because their basal value was higher. These data taken together suggest that most of the within-goat variations of the desaturase index observed between basal and t10,c12-C18:2 infusion are inversely related with the variations in t10-C18:1 in milk fat. It also suggests that the decrease in the activity of  $\Delta^9$  desaturase observed in our trial during the t10,c12-C18:2 infusion could also be mediated via an indirect mechanism. Possibly, the increase in t10-C18:1 availability in the mammary gland due to the t10,c12-C18:2 infusion was directly responsible of the decrease in the activity of  $\Delta^9$  desaturase. This was in line with data of de Veth et al. (2004) who reported no variation in the desaturase index and no increase of t10-C18:1 in milk fat after the t10,c12-C18:2 infusion. However, this was in contrast with data of Piperova et al. (2000) that reported a high concentration of t10-C18:1 in milk fat during milk fat depression with no change in the desaturase index, though only total *cis*-C18:1 was indicated. Moreover, t10,c12-C18:2 but not t10-C18:1 decreases  $\Delta^9$  desaturase activity in mouse liver (Park et al., 2000). Possibly, t10-C18:1 and t10,c12-C18:2 may differently affect the activity of  $\Delta^9$  desaturase according to species (goat vs. cow).

The DMI, the milk yield, and the yield of milk protein and lactose were not affected by the t10,c12-C18:2 infusion or by the interaction between the dietary factors and the t10,c12-C18:2 infusion. The lack of change in these variables is consistent with most of the studies that have infused a high dose of pure t10,c12-C18:2 isomer (Baumgard et al., 2000, Peterson et al., 2002a, Loor and Herbein, 2003b) or a high dose of CLA mixture (Chouinard et al., 1999).

In conclusion, the infusion of a daily dose of 2 g of t10,c12-C18:2 isomer of CLA (0.07% of the daily DMI) did not affect the milk fat content or the fat yield of dairy goats. This was related to the lack of reduction in short to medium-chain FA synthesis in mammary gland. This lack of effect of the t10,c12-C18:2 infusion could be a part of the explanation for the differences between cows and goats in the response to dietary supplementation with poly-unsaturated FA (Schmidely and Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003, Chilliard and Ferlay, 2004). However, the ratio of oleic acid to stearic acid, and rumenic acid to vaccenic acid in milk fat was reduced by the t10,c12-C18:2 infusion. This reduction in the desaturase index of milk fat could possibly have been mediated via a direct action of t10,c12-C18:2, or an increase in t10-C18:1 availability in the mammary gland. This decrease in desaturase index after t10,c12-C18:2 infusion was not affected by the percentage of concentrate as observed in dairy cows (Loor et al., 2002b), but it was less marked in the goats fed unsaturated FA (mainly oleic acid), possibly because they already had lower basal desaturase index in milk fat. This is in contrast of data in cows which indicated that the inhibitory effect of t10,c12-C18:2 on the desaturation of long chain FA in cows is not affected by a dietary supply of unsaturated FA (Loor et al., 2002b, Loor and Herbein, 2003b).

**Acknowledgments:**

The assistance of H. Albarello in the analysis of milk and diet FA is gratefully acknowledged.



## 4.2. Expérimentation 2 (Article 5)

Schmidely, Ph., Andrade, P.V.D. 2006. Short Communication: Duodenal infusion of *trans*10,*cis*12-C18:2 in dairy goats fed high- or low- concentrate diet with extruded soybeans or rolled canola seeds supplementation. *Soumis au Journal of Dairy Science*

### Abstract

The effect of t10,c12-C18:2 on milk production, and fatty acids (FA) profile of milk fat was studied in 8 goats infused in the duodenum with t10,c12-C18:2 (2 g/10 h) during 3 d, followed by a 2-d infusion of skim milk (SM). The goats were assigned to 4 diets in a factorial arrangement constituted by low (L = 45%) or high (H = 65% of the diet DM) percentage of concentrate with rolled canola seed or extruded soybeans to modify the c9,c12-C18:2/c9-C18:1 ratio in dietary DM. Milk samples were collected before (basal), and during the t10,c12-C18:2 and SM infusions. DMI, milk yield, the content and yield of milk fat, protein, and lactose were similar between basal and the t10,c12-C18:2 infusion. The proportion of saturated FA with 4 to 8C or 10 to 15C did not change during the t10,c12-C18:2 infusion. The t10,c12-C18:2 infusion increased the proportions of C18:0, t10- and t11-C18:1 and it decreased c9-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk fat, independently of the dietary treatments. The t10,c12-C18:2 infusion reduced the c9-C18:1/C18:0 ratio and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio, independently of the dietary treatments. Results indicated that mammary lipogenesis in dairy goats was not decreased by t10,c12-C18:2, however, the desaturation of long chain FA appeared to be equally affected as in dairy cows. These effects were not affected by c9,c12-C18:2/c9-C18:1 ratio in dietary DM.

(*Key words*: milk fatty acids, t10,c12-C18:2 infusion, goat)

### 4.2.1. Text

High-concentrate diets and/or dietary lipids supplementation in dairy cows has been associated with low milk fat content (MFC) and higher content of conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat. CLA refers to a collective term for a group of different positional and

geometric isomers of octadecadienoic acid that contain a pair of double bonds in a conjugated configuration. The abomasal infusion of pure isomers of CLA demonstrated that the t10,c12-C18:2 isomer was the most potent inhibitor of milk fat synthesis in dairy cows (Baumgard et al., 2000). The decrease in the MFC with t10,c12-C18:2 infusion involves an inhibition of the de novo fatty acids (FA) synthesis in dairy cows, as the reduction in the percentage of C4:0 to C16:0 may account for up to 78% of the reduction of MFC (Baumgard et al., 2000, 2002). In their review on lipid metabolism in dairy goats and cows, Chilliard and Ferlay (2004) concluded that goats responded differently than cows to lipid supplementation. Moreover, a duodenal infusion of a high dose of t10,c12-C18:2 did not reduce milk fat synthesis in dairy goats (Andrade and Schmidely, 2006), but it reduced the  $\Delta^9$ -desaturase activity in the mammary gland as in dairy cows (de Veth et al., 2004). The response of milk FA composition and  $\Delta^9$ -desaturase activity in the mammary gland of dairy goats to t10,c12-C18:2 infusion was not affected by dietary treatments inducing different levels of c9-C18:1 intake and similar intakes of c9,c12-C18:2 (Andrade and Schmidely, 2006), whereas the response of dairy cows to t10,c12-C18:2 infusion was not affected by intake of c9-C18:1 or c9,c12-C18:2 (Lor et al., 2002b). Consequently, our research hypothesis was that, in goats contrary to dairy cows, the response of milk FA composition to t10,c12-C18:2 infusion could be affected by the ratio between c9,c12-C18:2 and c9-C18:1 intakes. Thus, we evaluated the effect of a duodenal infusion of t10,c12-C18:2 on milk FA composition and  $\Delta^9$ -desaturase index in the mammary gland of goats fed different combinations of high- vs low- percentage of concentrate and extruded soybeans vs rolled canola seeds.

Eight multiparous dairy goats fitted with ruminal and duodenal cannula were assigned in a 2 x 2 factorial design to 4 experimental diets: low (L, 45% of dietary DM) or high (H, 65%) percentage of concentrate with extruded soybeans (L-SB, H-SB) or with rolled canola seeds (L-CS, H-CS). The L-SB and L-CS diets had the same FA content (2.3% DM); the H-CS diet had a higher content of total FA than the H-SB diet (3.3 vs. 4.5% DM). The main dietary FA was c9-C18:1 when CS was fed (L-CS: 33.0%, H-CS: 45.0% of total FA) and c9,c12-C18:2 when SB was fed (L-SB: 39.6%, H-SB: 47.8%). Ratio of intake for c9,c12-C18:2 to c9-C18:1 was 0.58, 0.76, 2.30 and 2.50 for H-CS, L-CS, H-SB, and L-SB diets, respectively. Forage part of the TMR was grass hay and dehydrated alfalfa in a 1:3 ratio. The TMR were formulated to meet or exceed nutrient requirements (INRA, 1989). The diets with the same percentage of concentrate were iso-nitrogenous and iso-energetic. The goats were fed their experimental TMR (2 goats/diet) for 7 wk prior to the infusion periods.

The infusion procedure, the preparation of the emulsions and the milk FA analysis were detailed by Andrade and Schmidely (2006). Briefly, the infusions were carried out for 2 wk, with 4 goats (1 goat/diet) infused each wk. The infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (2 g of free FA with purity > 98%) in skim milk was given during 3 consecutive d and followed by a 2 d-infusion of skim milk alone (no t10,c12-C18:2, SM). The duration of each infusion was 10 h per day, starting 1 h after the morning feeding. The DMI was recorded daily. Individual milk sampling (30 ml per milking) started the evening before the 1st d (Basal) of t10,c12-C18:2 infusion and they ended the morning following the last day of SM infusion. Two aliquots of milk were collected. The 1st aliquot containing Bronopol was stored at 4°C until analysis of fat, protein and lactose by IR analysis (Milkoscan; Foss Electric, Hillerød, Denmark). The 2nd aliquot without conservative was stored at -20°C until analysis of milk FA profile. Milk FA were extracted with ethanol/12 N HCl/hexane and they were methylated at room temperature with a methanolic boron trifluoride solution. Samples of methyl-esters were injected into a gas chromatograph (Varian Chromopack CP 3800; Varian SA, Les Ulis, France) equipped with a flame ionization detector and a 100 m x 0.25 mm i.d. fused silica capillary column (CP Sil-88). The carrier gas was ultrapure helium. The initial temperature was 50°C (for 1min), increased 10°C/min to 170°C (for 78 min) and increased 5°C/min to 220°C (for 15 min). Individual FA were identified by comparison with retention time to those of pure standards (Supelco Inc, Bellefonte, USA).

Data for DMI, milk yield and composition obtained during the last 2 d of t10,c12-C18:2 infusion were averaged by goat, as well as the data obtained during the 2 d of SM infusion. Data obtained before starting the infusions (basal), and during the t10,c12 C18:2 and the SM infusion were analyzed as a factorial design with repeated measures using the MIXED Procedure of SAS (2000) as described by Andrade and Schmidely (2006). The effects of infusion were associated with the effect of time (repeated measures for a same goat, with time = 0 for basal, time =1 for t10,c12-C18:2 infusion, and time = 2 for SM infusion). The relevant comparison for the effect of t10,c12-C18:2 infusion was time = 1 vs time = 0, whereas the comparison between time = 1 vs time = 2 determined eventual carry-over effects of t10,c12-C18:2 during SM infusion.

Before the infusion (Basal), goats fed H diets, especially H-CS, had lower ( $P<0.05$ ) DMI and lower milk, fat, protein and lactose yields (table 1) than those fed the L diets. This was due to one goat fed the H-CS diet that had a very low DMI and milk yield from the beginning of the trial. Experimental diets had no significant effect on the milk content of fat or lactose, and feeding SB slightly increased ( $P<0.01$ ) milk protein content. The percentage of

short-chain FA (C4:0 to C8:0) was similar among groups. Feeding CS reduced ( $P < 0.05$ ) the content of medium-chain (C10:0 to C15:0) and C16:0 and increased the content of c9-C18:1, total trans-C18:1 and t10-C18:1 in milk fat. Feeding SB increased ( $P < 0.05$ ) the content of t11-C18:1, c9,t11-C18:2 and c9,c12-C18:2. Overall, these results agree with data obtained in dairy cows (Loor and Herbein, 2003b). Feeding H diet increased the content of total trans-C18:1 and t10-C18:1 as observed in dairy goats (Calderon et al., 1984) and cows (Piperova et al., 2000).

DMI, milk production and composition (fat, protein and lactose) were similar before (basal) and during the CLA infusion and there was no significant interaction between infusion and dietary factors (table 1). In dairy cows, low MFC arise mainly from the reduction in the concentrations of FA with 4 to 16 C, which is very marked during the infusion of t10,c12-C18:2 (Baumgard et al., 2002). However, in our study, the t10,c12-C18:2 infusion had no significant effect on the content of short-chain, medium-chain, C16:0 or c9-C16:1 (table 2), which may explain the lack of MFC depression. These results are in line with our previous study (Andrade and Schmidely, 2006), and they confirm that lipid synthesis in goat is not as sensitive as in cows to t10,c12-C18:2. A small reduction in the milk fat content of goats was reported (Erasmus et al., 2004), but only when they were fed large amounts (10g) of a supplement containing t10,c12-C18:2. However, in dairy goats as in dairy cows, the infusion of t10,c12-CLA reduced the percentage of c9,t11-C18:2 in milk fat and it tended to increase that of t11-C18:1. It also reduced the c9-C18:1 accompanied by an increase in C18:0, showing a reduction in the proxy of mammary  $\Delta^9$ -desaturase activity. The c9,c12-C18:2 was also reduced during the CLA infusion.

Contrary to our research hypothesis, the response of milk FA to the t10,c12-C18:2 infusion was independent of the diet (interaction infusion x dietary factors:  $P > 0.10$ , excepting for t10c12-C18:2 in milk fat). Simultaneously, no effect of the interaction between the infusion of t10,c12-C18:2 and the dietary treatments was significant on the proxy of the  $\Delta^9$ -desaturase activity estimated by the ratio c9,t11-C18:2/c9-C18:1 or c9-C18:1/C18:0, in line with data obtained during the infusion of t10,c12-C18:2 in dairy cows fed oleic or linoleic acids (Loor and Herbein, 2003b). These data indicate that goats and cows respond similarly for the decrease of  $\Delta^9$ -desaturase activity to t10,c12-C18:2, and that response is independent of the dietary FA profile.

In conclusion, the duodenal infusion of t10,c12-C18:2 (2 g, i.e. 0.08% of DMI) did not affect the milk fat content or the fat yield of dairy goats, despite the high content of this FA in

milk fat. This was related to the lack of inhibition of de novo FA synthesis in the mammary gland, independently of the FA profile of diet. Our results confirmed that lipid synthesis in goats mammary gland was not inhibited by t10,c12-C18:2, contrary to data in cows. However, inhibition of  $\Delta^9$ -desaturase activity of mammary gland was similar between goats and cows, and this response was independent of the FA profile of the diet.

**Table 1.** Production parameters of mid-lactation dairy goats fed low (L) or high (H) percentage of concentrate diets with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM).

Diet Infusion	L-SB			L-CS			L-SB			L-CS			sem	<i>Effects<sup>1</sup></i>			
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM		I	IxC	IxF	IxFxC
DMI, g/d	2996	2380	2885	2500	2593	2646	2741	2530	1801	1961	1785	1919	115	NS	NS	NS	NS
Milk yield, g/d	2724	3186	3167	3450	3285	2826	2543	2662	2663	1680	1032	993	195	NS	NS	NS	NS
Fat, g/kg	38.5	36.1	35.6	38.4	38.2	37.3	31.9	35.0	31.6	34.4	39.3	34.0	0.9	NS	NS	NS	NS
Protein, g/kg	35.5	36.1	37.9	33.1	32.1	32.3	35.7	35.6	35.1	32.0	32.7	32.5	0.5	NS	NS	NS	NS
Lactose, g/kg	47.1	47.7	50.1	46.0	46.7	48.0	41.4	41.7	39.3	45.3	47.0	47.2	0.8	NS	NS	NS	NS
Fat, g/d	101	114	106	144	120	101	82	94	84	39	40	35	7.8	NS	NS	NS	NS
Protein, g/d	95	115	112	124	92	61	91	95	94	37	33	33	7.4	NS	NS	NS	NS
Lactose, g/d	127	152	149	172	135	91	105	108	93	52	48	59	10.4	NS	NS	NS	NS

<sup>1</sup>: infusion effect; IxF: interaction between effect of infusion and fat addition; IxC: interaction between effect of infusion and concentrate percentage, IxFxC: interaction effect of infusion effect, fat addition and percentage of concentrate ; NS: non significant, +, \*, \*\*, and \*\*\*: P < 0.10, 0.05, 0.01 and 0.001, respectively

**Table 2.** Milk fatty acid profile of mid-lactation dairy goats fed low (L) or high (H) percentage of concentrate diets with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (SM).

Diet	L-SB			L-CS			H-SB			H-CS			sem	<i>Effects</i> <sup>1</sup>			
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM		I	IxC	IxF	IxFxC
Fatty acid	% of total fatty acids																
C <sub>4:0</sub> to C <sub>8:0</sub>	6.76	8.23	7.06	5.95	7.44	5.16	6.82	7.88	6.79	6.36	6.71	5.38	0.28	NS	NS	NS	NS
C <sub>10:0</sub> to C <sub>15:0</sub>	27.29	28.29	26.41	25.65	28.46	21.18	30.05	30.90	29.41	26.25	26.14	22.81	0.82	NS	NS	NS	NS
C <sub>16:0</sub>	28.70	29.03	26.97	26.37	26.00	26.48	31.12	28.57	28.47	24.18	22.07	22.12	0.65	NS	NS	NS	NS
c9-C <sub>16:1</sub>	0.42	0.41	0.68	0.55	0.46	0.56	0.57	0.45	0.49	0.49	0.39	0.45	0.02	NS	NS	NS	NS
C <sub>17:0</sub>	0.85	0.75	1.00	0.94	0.82	0.92	0.73	0.58	0.62	0.62	0.54	0.61	0.73	*	NS	NS	NS
C <sub>18:0</sub>	11.51	12.69	13.27	8.22	12.28	10.61	5.94	9.47	8.81	10.45	16.72	16.13	0.06	*	NS	NS	NS
total <i>trans</i> -C <sub>18:1</sub>	1.71	1.87	1.76	1.79	1.73	1.82	1.66	2.01	2.07	2.21	2.57	2.23	0.02	NS	NS	NS	NS
t10-C <sub>18:1</sub>	0.26	0.33	0.29	0.21	0.34	0.27	0.23	0.34	0.32	0.37	0.49	0.38	0.03	***	NS	NS	NS
t11-C <sub>18:1</sub>	0.76	0.79	0.81	0.95	1.04	0.94	0.80	1.05	1.02	0.83	1.02	0.86	0.82	+	NS	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub>	16.29	10.84	15.14	16.29	10.84	15.14	13.34	10.74	13.34	19.67	15.49	21.02	0.12	**	NS	NS	NS
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	1.90	1.64	2.35	2.99	2.55	2.93	2.78	2.71	3.05	1.94	1.52	1.72	0.02	*	NS	NS	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.19	0.12	0.19	0.37	0.19	0.25	0.42	0.27	0.33	0.37	0.21	0.23	0.03	**	NS	NS	NS
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	ND	0.34	0.04	ND	0.39	0.05	ND	0.22	0.04	ND	0.41	0.10	0.03	***	NS	NS	**
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	0.64	0.57	0.64	0.65	0.55	0.63	0.34	0.34	0.35	0.37	0.32	0.33	0.28	+	NS	NS	NS
c9-C <sub>18:1</sub> / C <sub>18:0</sub>	1.45	0.82	1.14	1.95	0.87	1.41	2.33	1.13	1.51	1.88	0.93	1.30	0.82	***	NS	NS	NS
c9,t11-C <sub>18:2</sub> / t11-C <sub>18:1</sub>	0.25	0.15	0.23	0.39	0.18	0.27	0.53	0.26	0.32	0.45	0.21	0.27	0.65	**	NS	NS	NS

<sup>1</sup>: infusion effect; IxF: interaction between effect of infusion and fat addition; IxC: interaction between effect of infusion and concentrate percentage, IxFxC: interaction effect of infusion effect, fat addition and percentage of concentrate; NS: non significant, +, \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.10, 0.05, 0.01$  and  $0.001$ , respectively

ND = not detectable

## 4.2.2. Données non présentées dans l'article

**Table 3:** Milk fatty acid profile of mid-lactation dairy goats fed low or high percentage of concentrate diets in combination with extruded soybeans (SB) or rolled canola seeds (CS) before (Basal), and during duodenal infusion of t10,c12-C18:2 emulsion (CLA) or skim milk (CTL)<sup>1</sup>.

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High						sem	<i>Effects</i> <sup>2</sup>				
	SB			CS			SB			CS				I	IxC	IxF	IxFxC	
	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM	Basal	CLA	SM						
	% of total fatty acids																	
C <sub>4:0</sub>	1.46	1.85	1.53	1.60	2.07	1.95	1.59	1.85	1.67	1.68	1.94	1.65	0.04					
C <sub>6:0</sub>	1.93	2.44	1.62	2.18	2.68	2.25	2.19	2.54	2.15	2.03	2.14	1.67	0.07	***	NS	NS	NS	
C <sub>8:0</sub>	2.55	3.15	2.01	2.98	3.48	2.87	3.03	3.49	2.97	2.65	2.63	2.06	0.11	***	NS	NS	NS	
C <sub>10:0</sub>	10.05	12.12	7.56	10.89	12.17	10.36	11.86	13.04	11.55	9.94	9.48	7.65	0.40	***	NS	NS	NS	
C <sub>11:0</sub>	0.23	0.20	0.15	0.30	0.17	0.19	0.40	0.28	0.28	0.33	0.18	0.16	0.02	***	NS	NS	NS	
C <sub>12:0</sub>	4.18	4.77	3.51	4.77	5.03	4.50	6.09	6.00	5.71	4.89	4.99	4.47	0.17	***	NS	NS	NS	
C <sub>13:0</sub>	0.13	0.13	0.10	0.16	0.10	0.11	0.23	0.16	0.17	0.17	0.13	0.13	0.01	***	NS	*	NS	
C <sub>14:0</sub>	11.42	11.57	10.10	11.63	11.71	11.55	12.11	11.86	12.14	11.42	11.68	10.68	0.12	NS	NS	NS	NS	
i C <sub>14:0</sub>	0.14	0.16	0.12	0.17	0.15	0.15	0.09	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.01	NS	NS	NS	NS	
c9-C <sub>14:1</sub>	0.06	0.06	0.08	0.11	0.06	0.08	0.15	0.10	0.13	0.13	0.06	0.10	0.01	***	NS	NS	NS	
C <sub>15:0</sub>	1.30	1.32	1.17	1.46	1.29	1.34	1.05	0.97	0.96	1.05	1.05	1.05	0.04	NS	NS	NS	NS	
ai C <sub>15:0</sub>	0.37	0.38	0.32	0.47	0.42	0.42	0.29	0.30	0.30	0.33	0.33	0.34	0.01	NS	NS	NS	NS	
C <sub>16:0</sub>	28.70	29.03	26.97	26.37	26.00	26.48	31.12	28.57	28.47	24.18	22.07	22.12	0.69	NS	NS	NS	NS	
i C <sub>16:0</sub>	0.36	0.36	0.36	0.43	0.39	0.40	0.23	0.25	0.24	0.23	0.23	0.23	0.02	NS	NS	NS	NS	
c9-C <sub>16:1</sub>	0.42	0.41	0.68	0.55	0.46	0.56	0.57	0.45	0.49	0.49	0.39	0.45	0.02	***	*	NS	NS	
C <sub>17:0</sub>	0.85	0.75	1.00	0.94	0.82	0.92	0.73	0.58	0.62	0.62	0.54	0.61	0.04	***	*	NS	NS	
ai C <sub>17:0</sub>	0.41	0.38	0.43	0.47	0.44	0.45	0.30	0.31	0.32	0.35	0.37	0.39	0.01	NS	NS	NS	NS	
C <sub>18:0</sub>	11.51	12.69	13.27	8.22	12.28	10.61	5.94	9.47	8.81	10.45	16.72	16.13	0.73	***	NS	NS	*	



Table 3. (continued)

Percentage of concentrate Fat addition Infusion	Low						High						sem	<i>Effects</i> <sup>2</sup>				
	Basal	SB CLA	SM	Basal	CS CLA	SM	Basal	SB CLA	SM	Basal	CS CLA	SM		I	IxC	IxF	IxFxC	
	% of total fatty acids																	
t6+7+8-C <sub>18:1</sub>	0.22	0.20	0.21	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17	0.29	0.34	0.31	0.02	**	*	NS	NS	
t9-C <sub>18:1</sub>	0.24	0.16	0.22	0.20	0.15	0.17	0.20	0.17	0.21	0.32	0.30	0.30	0.02	**	NS	NS	NS	
t10-C <sub>18:1</sub>	0.26	0.33	0.29	0.21	0.34	0.27	0.23	0.34	0.32	0.37	0.49	0.38	0.02	***	NS	NS	NS	
t11-C <sub>18:1</sub>	0.76	0.79	0.81	0.95	1.04	0.94	0.80	1.05	1.02	0.83	1.02	0.86	0.03	*	NS	NS	NS	
c6-C <sub>18:1</sub>	0.37	0.38	0.37	0.32	0.31	0.28	0.28	0.33	0.36	0.40	0.46	0.39	0.01	NS	NS	NS	NS	
c9-C <sub>18:1</sub>	15.10	10.00	19.34	16.29	10.84	15.14	13.34	10.74	13.34	19.69	15.50	21.02	0.83	***	*	NS	NS	
c11-C <sub>18:1</sub>	0.48	0.40	0.58	0.47	0.43	0.38	0.33	0.35	0.34	0.43	0.44	0.45	0.02	**	**	NS	NS	
t9,t12-C <sub>18:2</sub>	0.21	0.14	0.23	0.25	0.15	0.18	0.22	0.16	0.21	0.28	0.17	0.21	0.01	***	NS	NS	NS	
c9,c12-C <sub>18:2</sub>	1.90	1.64	2.35	2.99	2.55	2.93	2.78	2.71	3.05	1.94	1.52	1.72	0.15	**	NS	NS	NS	
c9,t11-C <sub>18:2</sub>	0.19	0.12	0.19	0.37	0.19	0.25	0.42	0.27	0.33	0.37	0.21	0.23	0.02	***	NS	NS	NS	
t10,c12-C <sub>18:2</sub>	0.00	0.34	0.04	0.00	0.39	0.05	0.00	0.22	0.04	0.00	0.41	0.10	0.04	***	NS	*	*	
c9,c12,c15-C <sub>18:3</sub>	0.64	0.57	0.64	0.65	0.55	0.63	0.34	0.34	0.35	0.37	0.32	0.33	0.04	*	NS	NS	NS	
Unidentified	0.22	0.20	0.21	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17	0.29	0.34	0.31	0.07	NS	NS	NS	NS	

<sup>1</sup>Data for CLA are the means of the 2nd and 3rd day of infusion. Data for CTL infusions are the means of the 4th and 5th day of infusion.

<sup>2</sup>I: infusion effect; IxF: interaction between effect of infusion and fat addition; IxC: interaction between effect of infusion and concentrate percentage, IxFxC: interaction effect of infusion effect, fat addition and percentage of concentrate.

<sup>3</sup>NS: non significant. \*, \*\*, and \*\*\*:  $P < 0.05$ , 0.01 and 0.001, respectively. ND: not detectable

# **Discussion générale**

L'objectif de cette thèse était d'étudier, chez des chèvres en milieu de lactation, l'influence du pourcentage de concentré de la ration et de la supplémentation lipidique sous forme de graine d'OP (apport et nature) sur les performances zootechniques et sur la composition en AG de la MG du lait. Les flux duodénaux et fécaux de parois végétales, et les flux duodénaux de lipides ainsi que leur composition en AG ont aussi été étudiés afin de caractériser les effets des facteurs expérimentaux sur le métabolisme ruminal, principalement dans sa composante lipidique dans le but de mieux comprendre les relations entre alimentation et composition du lait.

#### *- Ingestion et digestibilité des rations*

Le pourcentage de concentré, l'apport ou la nature des lipides ajoutés à la ration n'ont pas influencé la MSI. Ceci confirme les différents résultats obtenus avec des chèvres laitières ingérant des rations riches en concentré (Abijaoudé et al., 2000, Goetsch et al. 2001), ou contenant de 10 à 22% de graines (Schmidely et al., 2004/2005, Bernard et al., 2005b), ou 5-6% d'huile d'OP dans la MS de la ration (Rouel et al., 2002). Des réductions d'ingestion chez la chèvre laitière sont parfois observées avec des graines de lin traitées par du formaldéhyde, ou des rations apportant 3,6% d'huile de tournesol (Bernard et al., 2005b). Il est probable que chez la chèvre, comme chez la vache (Allen, 2000), des effets négatifs de la supplémentation lipidique sur l'ingestion sont observés quand cette supplémentation a des effets défavorables sur le métabolisme ruminal. Les rations expérimentales utilisées dans cette étude ont eu peu d'impact sur le fonctionnement ruminal dans la mesure où l'apport de graines de colza n'a que légèrement diminué la digestibilité ruminale de la MS et elle a tendu à diminuer celle du NDF, sans pour autant en réduire la digestibilité fécale. Cet effet modeste des graines de colza sur la digestibilité peut être lié d'une part, aux niveaux peu élevés de lipides ajoutés qui n'ont donc pas perturbé le métabolisme ruminal, et à la présentation des lipides sous forme de graines laminées ce qui a probablement induit une libération lente des AG. En revanche, l'apport des graines de colza a significativement augmenté les flux duodénaux de lipides et il a provoqué une diminution de leur digestibilité ruminale.

La nature des lipides ajoutés n'a été étudiée qu'au sein de rations à faible pourcentage de concentré. Dans ces conditions, elle n'a eu aucun impact sur les flux duodénaux ou fécaux de la MS, des parois végétales ou des lipides. Il reste à déterminer si, au sein de rations plus riches en concentré, des graines différant par le degré d'insaturation de leurs AGPI peuvent

avoir des effets négatifs sur les fermentations ruminales et le fonctionnement des microorganismes ruminants chez la chèvre comme chez la vache (Jenkins, 1993).

Dans les deux expérimentations, les concentrés ont été formulés pour être iso-énergétiques et iso-azotés. Ainsi, l'ingestion d'énergie nette et le bilan énergétique étaient supérieurs chez les chèvres recevant les rations riches en concentré en comparaison à celles contenant 45% de concentré. Toutes les rations avaient des teneurs faibles en protéines en raison d'une surestimation des teneurs en protéines des matières premières utilisées. Néanmoins, les rations expérimentales semblent avoir fourni assez de protéines pour couvrir les besoins des chèvres car dans cette étude la production était assez élevée ( $3,7 \pm 1,0$  kg/j) et le TP était dans les plages normales de variation.

L'ingestion de NDF ou d'ADF étaient supérieures chez les chèvres alimentées avec les rations H par rapport aux L. Les rations riches en concentré ont diminué les flux duodénaux des parois végétales, ce qui peut avoir contribué à l'augmentation de leur digestibilité par rapport aux rations avec 45% de concentré.

Les teneurs et les quantités ingérées des lipides ont été plus variables que celles des autres nutriments. Du fait des objectifs choisis dans l'Exp. 1 (étudier l'effet de l'apport lipidique), les teneurs en AG des régimes expérimentaux étaient très différentes. Pratiquement, les chèvres du groupe H-CS20 ont présenté les ingestions d'AGT les plus élevées de tous les groupes expérimentaux. Dans l'Exp.2, en raison de la teneur plus élevée en lipides des graines de colza par rapport aux graines de soja, l'ingestion d'AGT était plus élevée dans les groupes recevant la ration H-CS par rapport à ceux des groupes H-SB, mais ces différences n'ont pas eu d'impact sur la production ou la composition du lait.

#### *- Production de lait*

Chez les chèvres, les modifications de la PL par la supplémentation lipidique ou par le rapport C/F de la ration sont assez variables (Chilliard et al., 2003, Chilliard et Ferlay, 2004), dépendant principalement des effets de l'alimentation sur l'ingestion, du bilan énergétique et du stade physiologique des animaux. Kawas et al. (1991), Santini et al. (1992), Abijaoudé et al. (2000) et Goetsch et al. (2001) n'ont pas observé d'effet significatif du pourcentage de concentré sur la PL des chèvres. Ces résultats sont en accord avec ceux que nous avons obtenus lors de Exp.2. Toutefois, pendant l'Exp.1, nous avons observé une augmentation de la PL et la PL corrigée à 3,5% de MG lors de l'utilisation des rations avec 65% de concentré, probablement en raison de la plus forte ingestion d'énergie nette et des bilans énergétiques

plus positifs dans les groupes H. Néanmoins, les chèvres recevant les rations L ont présenté des bilans énergétiques positifs ou nuls pendant toute la période expérimentale. Les différences de réponse de la PL entre les deux expérimentations sont plus difficiles à expliquer parce que les compositions des rations et les niveaux d'ingestion étaient proches entre les études.

En général, la supplémentation lipidique tend à augmenter la production de lait en début de lactation, mais cet effet est moins important en milieu et fin de lactation (Chilliard et al., 2003). Dans cette étude, l'ajout de lipides n'a pas eu d'effet significatif sur la PL quand comparée aux régimes témoins, en accord avec des résultats obtenus chez des chèvres laitières par Mir et al. (1999) et Bernard et al. (2005a). La combinaison de l'utilisation d'une ration riche en concentré avec l'addition de lipides sous forme de graines de colza a eu un effet positif sur la PL et la PL corrigée comme il a été observé avec des chèvres alimentées avec des rations riches en concentré et supplémentées en graines de soja (Schmidely et al., 2005). Mais, cela contraste avec les résultats présentés par Chilliard et al. (2003). Dans l'Exp.2, la nature des graines d'OP ajoutées à la ration a eu peu d'effet sur la PL, concordant avec des études réalisées sur des vaches laitières (voir **étude bibliographique**) ou sur des chèvres (Chilliard et al., 2003, Bernard et al., 2005b). Cependant, des différences de PL ont été observées entre lots de chèvres supplémentées avec des huiles de lin ou de tournesol oléique (Rouel et al., 2002) ou avec des graines de colza ou de tournesol (Schmidely et al., 2004), mais ces différences ne sont pas forcément liées aux caractéristiques des OP, puisque des différences des contenus énergétiques des rations peuvent expliquer une partie des différences de PL.

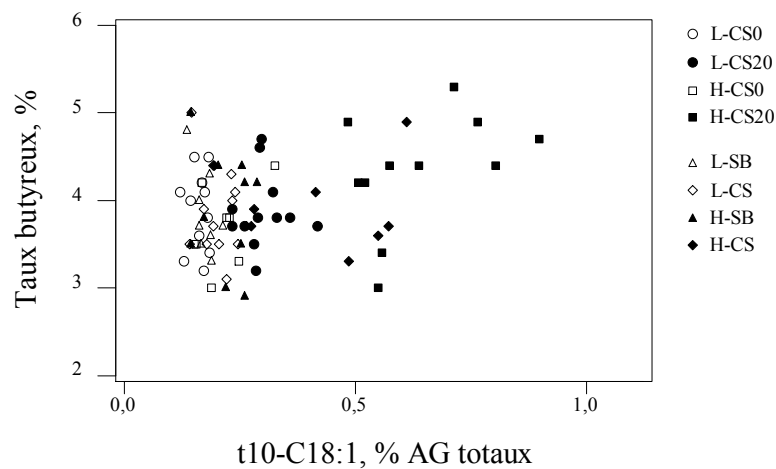
#### *- Taux butyreux du lait*

Dans cette étude, l'augmentation du pourcentage de concentré de 45 à 65% n'a pas eu d'effet significatif sur le TB du lait. Des rations riches en concentré (>50% de la MS de la ration) peuvent induire des chutes du TB chez des chèvres laitières (Sauvant et Morand-Fehr, 2000, Schmidely et Sauvant, 2001) ainsi que chez des vaches (Bauman et Griinari, 2001). Par contre, contrairement au observé chez des vaches, des augmentations du TB sont souvent observées chez les caprins supplémentés avec des graines (Exp.1, Bernard et al., 2005a/b, Schmidely et al., 2005) ou des huiles d'OP (Mir et al., 1999, Rouel et al., 2002, Bernard et al., 2005b). En revanche, la nature de l'OP ajoutée à la ration a peu d'effet sur le TB (Exp.2, Rouel et al., 2002, Schmidely et al., 2004). L'augmentation du TB chez les caprins est peut-

être un effet d'une augmentation du prélèvement des AG longs d'origine alimentaire ou ruminal par la glande mammaire.

Les mécanismes déterminant la réduction du TB en réponse à la supplémentation lipidique (**l'étude bibliographique**) sont principalement liés aux chutes du pH ruminal (surtout lors de l'utilisation des rations pauvres en fibres), aux modifications des proportions des AGV et à l'accumulation de certains AG de configuration *trans*. Dans cette étude, l'addition de substances tampons aux rations, et la présence de fibres longues dans la ration (foin) ont contribué à maintenir le pH ruminal au dessus de 6,2 même avec les rations H, prévenant ainsi les chutes de TB (Piperova et al., 2002, Schmidely et al., 2005). Par rapport aux rations L, le contenu ruminal des chèvres recevant les régimes riches en concentré (dans l'Exp.1 uniquement) avait un rapport A/P réduit (réduction de l'acétate de 68 à 65% et augmentation du propionate de 17 à 20% des AGV), ce qui est habituellement observé avec ce type de ration. Toutefois, même si une réduction du rapport A/P est impliquée dans les chutes du TB, la réduction obtenue ici est beaucoup plus faible que celles observées par Calderon et al. (1984) chez des chèvres montrant des réductions du TB (diminution de l'acétate de 61 à 53% et augmentation du propionate de 25 à 33% des AG volatils) ou par Khorasani et Kennely (2001) chez des vaches laitières (diminution de 36% du rapport A/P). Dans notre étude, le rapport A/P a aussi été diminué par l'addition de lipides, en raison de l'augmentation des teneurs en propionate, mais les différences entre les groupes non supplémentés et ceux supplémentés en lipides étaient très faibles.

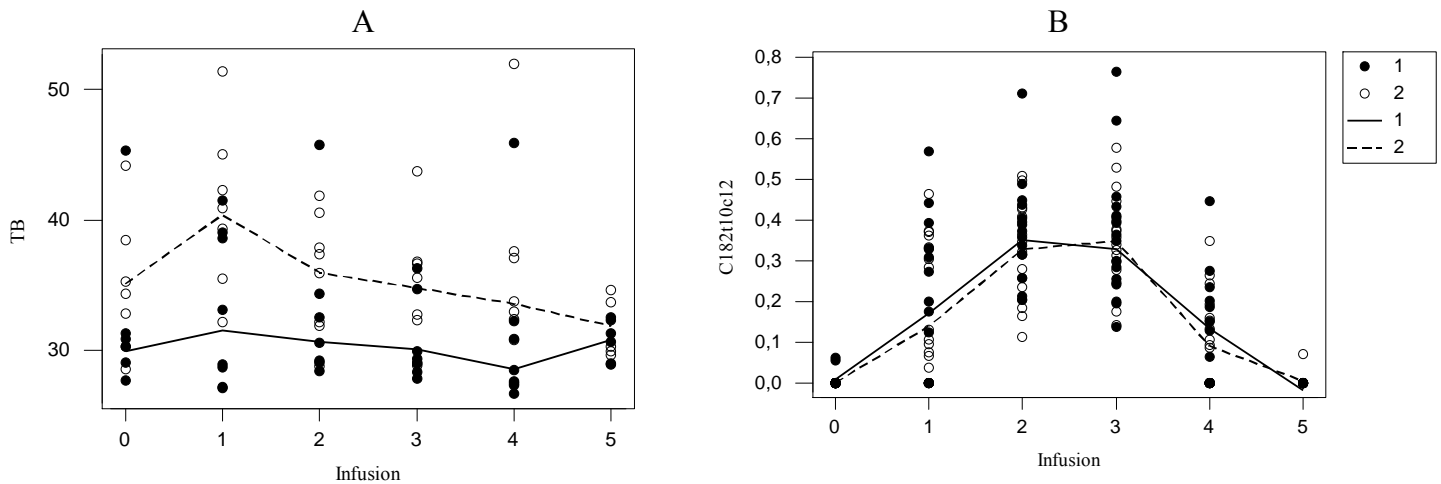
Chez les vaches laitières, l'accumulation dans le rumen puis l'absorption de certains AG *trans* inhibe la synthèse mammaire de MG : il a été montré que le t10,c12-C18:2 est un puissant inhibiteur de la lipogénèse mammaire bovine et il est probable que le t10-C18:1 a aussi des effets inhibiteurs (voir **étude bibliographique**). Les teneurs en t10-C18:1 du lait de chèvre ont été augmentées par les rations riches en concentré et celles supplémentées en lipides, mais nous n'avons pas observé de relation entre les teneurs en t10-C18:1 et le TB (Figure D1). Toutefois, la valeur maximale obtenue pour le t10-C18:1 (0,68% des AG totaux dans le groupe H-CS20) est inférieure à celles observées chez des vaches présentant des chutes de TB (voir **étude bibliographique**). De plus, Chilliard et al. (2003) ont montré qu'en dépit d'une augmentation des teneurs en t10-C18:1 dans le lait de chèvres alimentées avec des rations à base d'ensilage de maïs supplémentées en huile, aucune réduction du TB n'était obtenue.



**Figure D1:** Relation entre le taux butyreux (TB) du lait de chèvre et les teneurs en t10-C18:1 (% AGT) de la MG du lait.

Par ailleurs, nous n'avons pas détecté de t10,c12-C18:2 dans le lait ni dans les contenus duodénaux quelle que soit la ration distribuée. La chèvre ne semble pas présenter la même réactivité à cet AG que les vaches, puisque l'infusion duodénale de 2 g/j de t10,c12-C18:2 (0,8 g de CLA/kg de MSI) n'a induit aucune réduction de la synthèse de MG dans la mamelle, en dépit de pourcentages de t10,c12-C18:2 très élevés dans le lait (Figure 2). Des concentrations de t10,c12-C18:2 dans le lait proches (Baumgard et al., 2000, 2001) ou même inférieures (Loor et Herbein, 2003b, Perfield et al. 2004) à celles que nous avons observées réduisent la production mammaire de MG chez la vache laitière. Chez la chèvre, des études concernant l'effet du CLA sur le TB sont rares : ni l'infusion par voie intraveineuse de 0,2g de t10,c12-C18:2 (Schmidely et al., 2004) ni l'apport alimentaire d'un supplément de CLA contenant 17,5% de t10,c12-C18:2 (jusqu'à 0,63g/j de t10,c12-C18:2 - Erasmus et al., 2004) n'ont induit de chute de TB. Une réduction modeste du TB (-0,57% du TB) a cependant été obtenue par l'apport d'une quantité élevée de t10,c12-C18:2 (10g/j; Erasmus et al., 2004). Ces données suggèrent que la mamelle caprine est beaucoup moins sensible au t10,c12-C18:2 que celle des vaches ou des brebis puisque les doses nécessitées pour induire de modestes réductions du TB chez la chèvre représentent des doses 10 et 20 fois supérieures à celles utilisées chez la brebis (Lock et al., 2006) ou chez la vache (Baumgard et al., 2001) pour diminuer fortement le TB. Ces conclusions sont à rapprocher de celles de

Bernard et al. (2005b) montrant une faible réduction de la synthèse des AG courts et moyens dans la mamelle caprine lors d'apport d'AGPI (sans modification du TB), et de ceux de Bickerstaffe et al. (1972) qui avaient suggéré dès 1972 des différences inter-espèces pour la sensibilité mammaire aux AG de configuration *trans*.



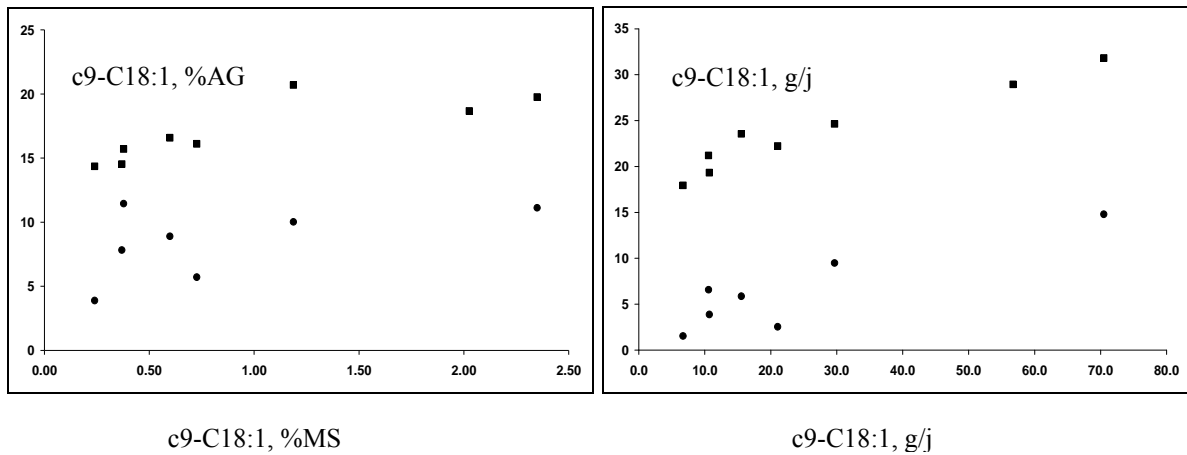
**Figure D2 :** TB (%) - A) et teneurs en t10,c12-C18:2 (%AGT - B) du lait de chèvre avant (0) et pendant l'infusion de t10,c12-C18:2 (1, 2, 3) et de lait écrémé (4, 5). Les cercles représentent les valeurs par chèvre et les lignes, les moyennes par expérimentation.

- Profil en AG du lait en relation avec les flux duodénaux d'AG

#### Isomères du C18:1 et c9,t11-C18:2

Au-delà des effets statistiques mis en évidence pour chacun des facteurs expérimentaux concernant le c9-C18:1 dans le duodénum et dans le lait, les variations de sa teneur ou de sa sécrétion dans le lait sont largement reliées à celles de sa teneur ou de son flux dans le duodénum, elle-même reflétant sa teneur dans l'aliment ou sa quantité ingérée (Figure D3; les données présentées sont les moyennes des lots expérimentaux de l'Exp.1 et de l'Exp.2, impliquant 7 données moyennes pour le flux duodéal ou le profil duodéal et 8 données pour la proportion dans le lait ou la quantité sécrétée).



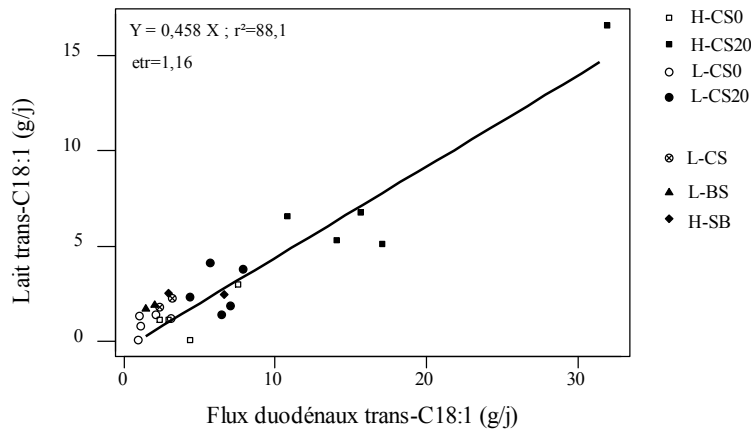


**Figure D3:** Relation entre l'ingestion (% MS ou g/j), le flux duodéal (●, %AG duodénaux ou g/j) et la proportion ou la sécrétion dans le lait (■ %AG du lait ou g/j) de c9-C18 :1 chez des chèvres laitières alimentées par différentes combinaisons du pourcentage de concentré et de l'apport de lipides.

Ces données confirment donc les résultats de l'étude **bibliographique** sur la vache laitière qui montrent que le profil en AG du régime (ici en c9-C18:1) 'marque' très largement le profil en AG du lait, et que les différences entre graine de colza et de soja sont faibles. En pratique, le meilleur moyen d'augmenter le c9-C18:1 du lait consiste donc à accroître sa teneur dans la ration et son ingestion. Ces données confirment aussi qu'une part importante du c9-C18:1 du lait provient de la désaturation du C18:0 via l'activité de la  $\Delta^9$ -desaturase puisque la comparaison du flux duodéal et de la sécrétion de c9-C18:1 fait apparaître une différence à peu près constante comprise entre 10 et 15 g/j, quelque soit le flux duodéal de cet AG (Figure D3). Cette plage de variation recouvre la valeur moyenne de l'écart entre flux duodéal de C18:0 (25 g/j environ) et celle de sa sécrétion dans le lait (12 g/j), soit environ 13 g/j, indiquant que la majorité du C18:0 duodéal non excrété dans le lait est transformé en c9-C18:1.

Les AG dont le profil ou le flux, ont été le plus modifié dans le duodénum ou le lait sont les AG *trans*-C18:1. Les teneurs dans le lait ont ainsi été augmentées de plus de 50% par les rations à 65% de concentré, pour atteindre de  $2,24 \pm 0,22$  à  $3,82 \pm 0,46\%$  des AGT, tandis que les proportions étaient multipliées par 2 dans le duodénum pour atteindre 16% des AGT chez les chèvres alimentées avec les rations H-CS20 (Figure D4). Ces résultats sur le profil en AG du lait concordent avec ceux observés dans la littérature pour les chèvres (Calderon et al., 1984, Ledoux et al., 2002) et pour les vaches (Jiang et al., 1996, Kalscheur et al., 1997b, Piperova et al., 2000). Nous avons observé des teneurs en *trans*-C18:1 supérieures dans le lait des chèvres alimentées avec des graines de colza comparativement aux graines de soja, ce qui

peut être lié à l'ingestion d'AGT plus importante des chèvres recevant du colza, principalement dans le lot à haut pourcentage de concentré plus qu'à des différences intrinsèques des graines.

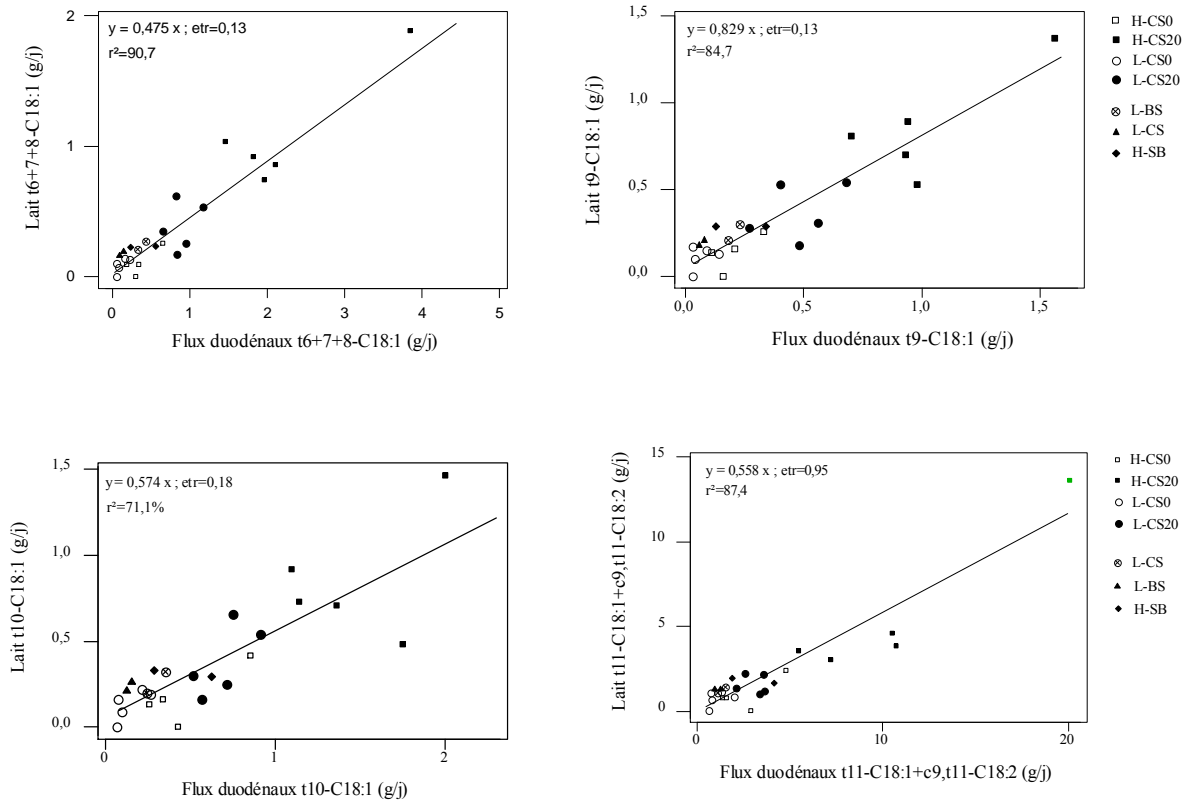


**Figure D4 :** Relation entre flux duodénaux de *trans*-C18:1 totaux (g/j) et production dans le lait (g/j) selon le régime expérimental.

La combinaison d'un pourcentage élevé de concentré et de l'apport lipidique a provoqué une forte augmentation du t11-C18:1 ( $3,51 \pm 0,28\%$  des AGT) dans le lait. Le régime H-CS20 fournit probablement des quantités de glucides et de AGPI suffisantes pour permettre la production d'AG *trans* dans le rumen (diminution des taux de lipolyse et de la biohydrogénation), surtout de t11-C18:1 et, par conséquent, la forte augmentation du flux de ces AG dans le duodénum et leur absorption par la glande mammaire (Figure D5).

Indépendamment du régime, nos données confirment le fait que, comme chez la vache laitière, le t11-C18:1 est le principal isomère *trans* dans le lait des chèvres. De plus, sa proportion dans la MG laitière a été augmentée par les rations riches en concentré et par celles supplémentées en graines de colza avec un effet très marqué de l'interaction entre ces deux facteurs sur cet AG (Figure D5). En ce qui concerne les différents isomères *trans*-C18:1 identifiés, les rations riches en concentré ont augmenté tous les isomères de la même façon. Ainsi le profil des isomères *trans* par rapport aux *trans*-C18:1 totaux dans le duodénum et dans le lait n'a été que très peu influencé par le pourcentage de concentré. Ces résultats sont en partie différents de ceux de Ledoux et al. (2002) qui avaient montré une augmentation du t10-C18:1 par rapport aux *trans* totaux en réponse à l'accroissement du pourcentage de

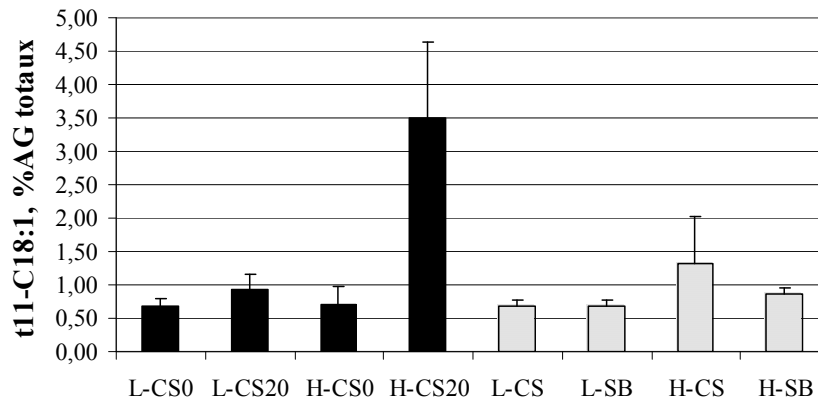
concentré. Ces différences entre nos résultats et ceux de Ledoux et al. (2002) sont probablement le reflet de modification dans la production de t10-C18:1 dans le rumen du fait de la présence de substances tampons dans nos essais.



**Figure D5:** Relation entre les flux duodénaux de différents isomères de position *trans* et leur sécrétion dans le lait selon le régime expérimental.

L'apport et la nature des lipides ont modifié les proportions des différents isomères *trans* par rapport aux *trans*-C18:1 totaux dans le lait. Comparé aux groupes témoins, l'apport de graines de colza a fortement augmenté les flux duodénaux et les teneurs dans le lait de t6+7+8- et de t11-C18:1 (Figures D5 et D6). Les réponses du t10- et du t11-C18:1 du lait au pourcentage de concentré et à l'apport lipidique sont variables selon les expérimentations. Elles peuvent dépendre de l'espèce animale (différences dans les populations bactériennes du rumen, par exemple), mais elles semblent surtout dépendre de certaines caractéristiques de la ration utilisée, tels les teneurs de NDF et d'amidon (Schingfield et al., 2005), la source d'amidon (Loor et al., 2004), la source de fourrage (Ledoux et al., 2002, Chilliard et Ferlay,

2004, Schingfield et al., 2005) et la quantité de lipides apportée, ainsi que le mode de présentation des lipides (graine ou huile - voir **étude bibliographique**) ou la nature de la graine oléagineuse (Loor et al., 2003a, Loor et al., 2005b).



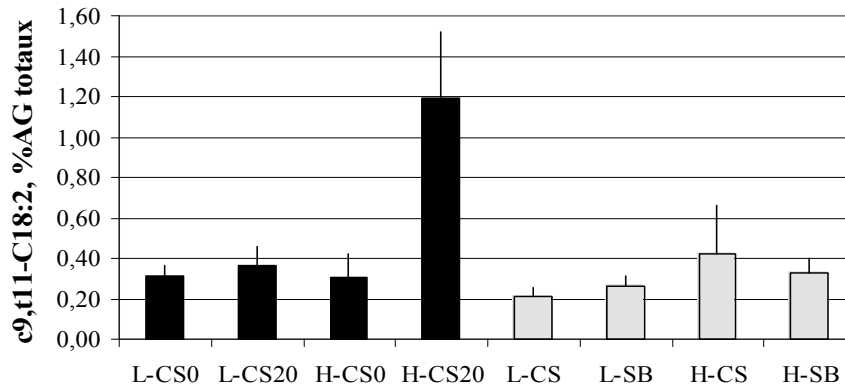
**Figure D6:** Teneurs en t11-C18:1 de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental.

Dans notre étude, tous les AG *trans* (% AGT) ont été augmentés par l'apport de graines de colza comparativement aux graines de soja et comme l'amplitude de l'augmentation a été différente selon l'isomère, le profil des isomères *trans* par rapport aux *trans*-C18:1 totaux a été modifiée par la nature des lipides : les teneurs en t11-C18:1 du lait (et des lipides duodénaux du groupe L-SB) ont été augmentées par la supplémentation avec les graines de soja tandis que le colza favorise les proportions en t6+7+8-C18:1. Les pourcentages de t10-C18:1 par rapport au *trans*-C18:1 totaux dans le lait n'ont pas été affectés par la nature des lipides. Ces résultats semblent montrer que, ainsi que chez la vache laitière, l'utilisation de colza ou de soja dans la ration va favoriser la production dans le rumen des différents intermédiaires du métabolisme des AGPI.

Du fait des faibles flux duodénaux de c9,t11-C18:2, les quantités de cet AG dans le lait de chèvre reflètent la production par la  $\Delta^9$ -desaturase de la glande mammaire à partir du t11-C18:1 captés dans la circulation sanguine. L'augmentation du pourcentage de concentré et l'addition de lipides ont permis un accroissement de la proportion en c9,t11-C18:2 de respectivement 132 et 160% (Exp.1) dans le lait. Les effets de ces deux facteurs étant additifs, le lait des chèvres alimentées avec la ration H-CS20 contenait environ 3,5 fois plus de c9,t11-C18:2 que celui des chèvres alimentées avec les autres rations (Figure D7).

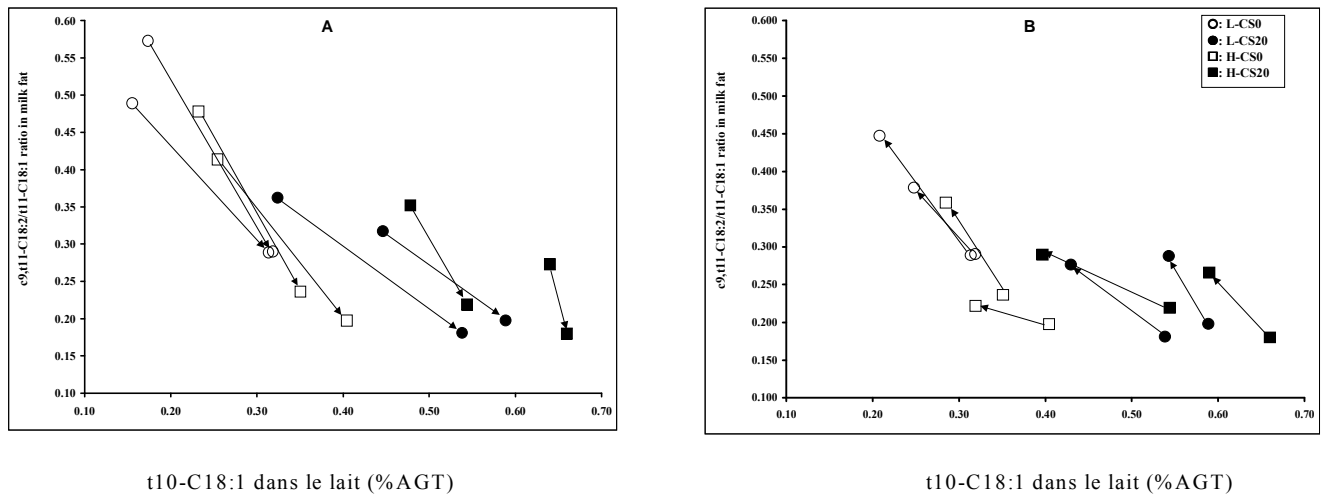
Des données sur vaches laitières semblent montrer que l'addition de colza ou de soja n'ont pas le même potentiel pour augmenter les teneurs en CLA dans le lait (plus de c9,t11-

C18:2 avec du soja qu'avec du colza - voir **étude bibliographique**), mais nous n'avons pas observé d'effet significatif de la nature des lipides sur les teneurs de c9,t11-C18:2 dans le lait (Figure D7), ni sur les teneurs en t11-C18:1 des lipides duodénaux des groupes L-SB et L-CS.



**Figure D7:** Teneurs en c9,t11-C18:2 de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental.

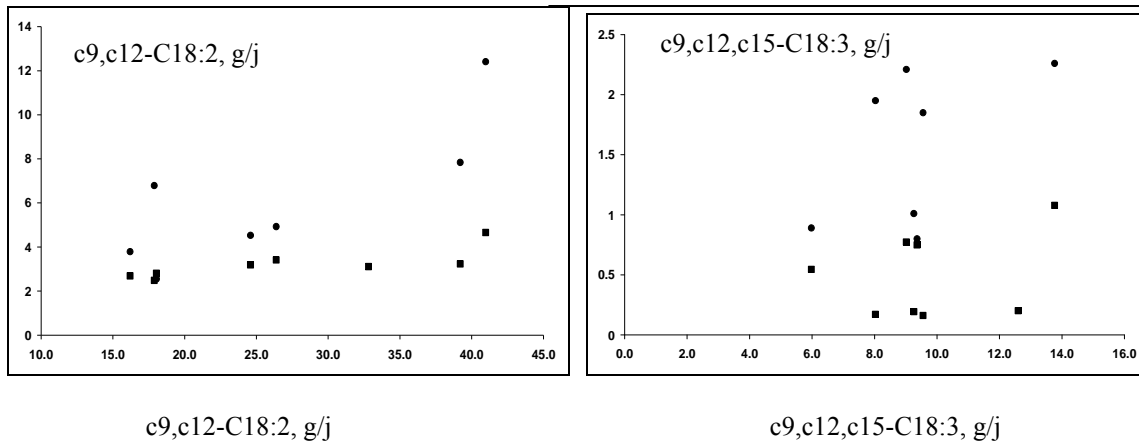
L'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase dans la glande mammaire, estimée par les rapports c9-C18:1/C18:0 et c9,t11-C18:2/t11-C18:1 a été réduite par les rations riches en concentré (Exp.1), par l'apport de lipides et par l'addition de colza en comparaison du soja. Il est possible que la diminution de ces rapports indique que l'activité de l'enzyme a été saturée par un flux trop important de ses substrats. Il a aussi été montré que cette enzyme est inhibée par les AGPI, en particulier le t10,c12-C18:2 : pendant l'infusion de t10,c12-C18:2 nous avons observé une relation entre la diminution des rapports c9-C18:1/C18:0 et c9,t11-C18:2/t11-C18:1, indiquant une réduction de l'activité de la  $\Delta^9$ -désaturase caprine de façon comparable aux données obtenues avec les vaches laitières (de Veth, 2004). L'inhibition de la  $\Delta^9$ -désaturase peut résulter d'un effet direct du t10,c12-C18:2, mais aussi de celui du t10-C18:1. Ainsi, le ratio c9,t11-C18:2/t11-C18:1 était inversement proportionnel à la concentration de t10-C18:1 quand cette relation est considérée intra-chèvre (Figure D8 - données de l'Exp.1, mais même type de réponse pour l'Exp.2).



**Figure D8:** Relation intra-chèvre entre le rapport  $c9,t11-C18:2/t11-C18:1$  et le pourcentage de  $t10-C18:1$  dans le lait pendant l'infusion de  $t10,c12-C18:2$ . Figure A : avant (données basales) et pendant l'infusion de CLA ; Figure B : pendant l'infusion de CLA et de témoins.

### Acides linoléique et linoléinique

Comme pour le  $c9-C18:1$ , la sécrétion du  $c9,c12-C18:2$  dans le lait est une fonction de son ingestion (Figure D9) mais la relation apparaît moins marquée qu'avec le  $c9-C18:1$  malgré une relation positive entre l'ingestion et le flux duodénal de  $c9,c12-C18:2$  (en dépit de la biohydrogénation ruminale). Ce phénomène s'explique par le fait qu'une part importante du  $c9,c12-C18:2$  est incorporée dans les phospholipides de l'organisme, et sont de ce fait peu disponibles pour la glande mammaire. Par contre, il n'a pas été possible de relier la sécrétion en  $c9,c12,c15-C18:3$  du lait, son flux duodénal et son ingestion. Plusieurs raisons sont responsables de ce phénomène. Il semble tout d'abord que la plage de variation des quantités ingérées de cet AG n'était pas très importante; ensuite la biohydrogénation intense de cet AG conduit à des flux duodénaux de très faible variation (0,8 à 2,2 g/j) ; enfin comme pour le  $c9,c12-C18:3$  une part très importante de son flux duodénal est incorporée dans les phospholipides, induisant de faibles sécrétions de cet AG dans le lait. L'utilisation de graines de colza ou de soja n'est évidemment pas le moyen le plus efficace pour accroître les teneurs du  $c9,c12,c15-C18:3$  dans le lait de chèvre, même si nous avons observé, en comparaison des lots témoins, une augmentation des flux duodénaux et, des teneurs en dans le lait quand les rations contenaient des graines de colza.



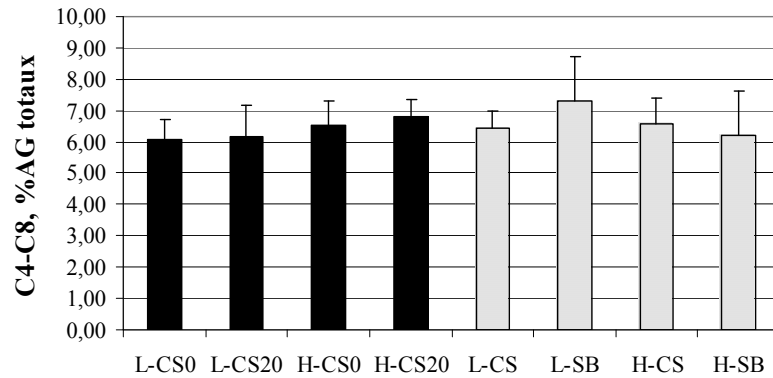
**Figure D9:** Relation entre l'ingestion (g/j), le flux duodéal (●, g/j) et la sécrétion dans le lait (■, g/j) du c9,c12-C18 :2 ou du c9,c12,c15-C18 :3 chez des chèvres laitières alimentées par différentes combinaisons du pourcentage de concentré et de l'apport de lipides.

#### AG pairs de chaîne courte et moyenne

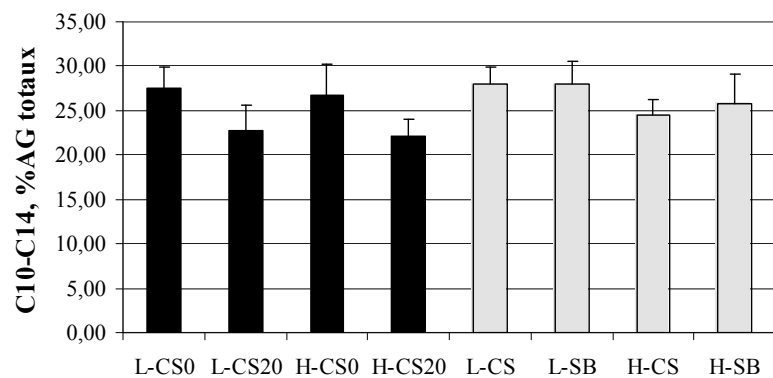
Dans les travaux de Ledoux et al. (2001) et Calderon et al. (1984) chez la chèvre, l'accroissement du pourcentage de concentré n'a pas modifié les teneurs de la MG du lait en C4:0 à C8:0, C14:0 et C16:0, mais il a provoqué une augmentation du C10:0 et du C12:0 au détriment de ceux des AG longs. Dans cette étude, une diminution des teneurs en AG de chaîne moyenne de 10 à 14C (Figure D11) a été obtenue avec les rations riches en concentré, mais la réponse des AG courts (Figure D10) et du C16:0 (Figure D12) a été variable selon l'expérimentation. Pendant l'Exp.2, les teneurs de ces AG n'ont pas été influencées par le pourcentage de concentré, tandis que lors de l'Exp.1, les rations riches en concentré ont augmenté les pourcentages de C4:0-C8:0 et ont diminué celui du C16:0, principalement dans le groupes recevant le régime H-CS20.

L'apport de lipide alimentaire, généralement, diminue les proportions en AG courts et moyens et augmente ceux en AG de chaîne longue dans le lait bovin (voir **étude bibliographique**). Chez les caprins, l'apport lipidique ne modifie pas la proportion des AG courts et provoque une diminution de la proportion des AG moyens (Schmidely et Sauvant, 2001, Chilliard et al., 2003). Nous n'avons pas observé d'effet de l'addition ou de la nature des lipides sur les teneurs en AG courts, mais l'apport de colza a provoqué une augmentation des AG longs ( $\geq 18C$ ) aux dépens des AG compris entre le C10:0 et le C16:0 par rapport aux groupes témoins. L'absence d'effet de l'apport lipidique sur les AG courts et son effet moins marqué sur les AG moyens chez les caprins que chez les bovins sont expliqués par la faible modification d'activité de l'acétyl-CoA carboxylase et de l'AG synthétase par l'addition des lipides à la ration (du moins jusqu'à 3,6% de la MS de la ration - Bernard et al.,

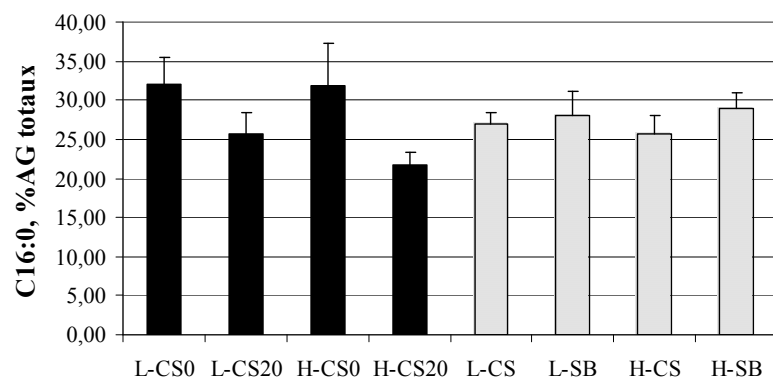
2005b). Même durant l'infusion de t10,c12-C18:2 qui inhibe fortement l'activité de ces enzymes mammaires chez la vache (Baumgard et al., 2002), aucune réduction des teneurs des AG pairs saturés de 4 à 16 C du lait de chèvre n'a été obtenue.



**Figure D10:** Teneurs en AG courts (C4:0-C8:0, %AGT) de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental.



**Figure D11:** Teneurs en AG moyens de chaîne pair (C10:0-C14:0, % AGT) de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental.



**Figure D12:** Teneurs en C16:0 (% AGT) de la MG du lait de chèvre selon le régime expérimental.



# **Conclusions et Perspectives**

L'objectif principal de cette thèse était d'étudier les relations entre ingestion, métabolisme ruminal et composition du lait pour ce qui concerne les AG, en réponse à des facteurs de variation alimentaires (apport de lipide et pourcentage de concentré) connus pour être des déterminants importants de la composition du lait chez les ruminants. Deux raisons principales avaient motivé ce choix:

\* Chez les caprins, il n'existait pas jusqu'à présent de données sur les mesures de flux duodénaux d'AG, et cette approche nous apparaissait intéressante pour expliquer une partie des différences de réponse entre caprins et bovins pour la synthèse de MG laitière en réponse à l'apport de lipide. Nos travaux sont, à notre connaissance, les premiers à fournir des données sur les flux duodénaux de lipides en relation avec la composition en AG du lait. Nos résultats montrent qu'il est possible d'accroître de façon modeste mais significative les teneurs en c9,t11-C18:2 et en t11-C18:2 dans le lait: ces AG considérés actuellement comme favorables pour la santé humaine, sont cependant accompagnés d'une augmentation des autres isomères *trans*-C18:1 dont les conséquences pour l'homme restent controversées. Nos travaux complètent par ailleurs les données peu nombreuses existant sur les flux duodénaux de parois végétales chez les caprins.

\* Les publications associant au sein d'une même série d'études des données d'ingestion, de flux duodénaux, et de composition du lait sont en nombre limité, même chez les bovins. Nos travaux ont pu confirmer d'importantes similitudes entre les bovins et les caprins pour la composition en AG des flux duodénaux, et en AG du lait en réponse à certains facteurs de variation d'origine alimentaire. Par contre, ils ont bien caractérisé une partie des différences entre les 2 espèces, en particulier l'absence de réponse de la MG laitière caprine (chute du TB, réduction de la synthèse des AG courts et moyens) en réponse aux facteurs de variation alimentaires, ou à celle de l'infusion duodénale de t10,c12-C18:2 connue pour inhiber la synthèse de la MG laitière chez les bovins. Nous avons par contre montré que la réponse de  $\Delta^9$ -désaturase à l'infusion de cet AG était identique entre les 2 espèces, bien qu'en condition pratique d'alimentation, il soit peu probable que les flux duodénaux de cet AG présentent des valeurs identiques à celles qui ont été infusées.

Certaines perspectives ou certaines études nouvelles en prolongement de nos travaux apparaissent :

\* L'utilisation de graines de colza ou de soja au sein de rations riches en aliments concentrés complètent les données existantes issues de notre laboratoire, et d'autres équipes de recherches en France (URH de Theix) qui fournissent des références techniques destinées aux éleveurs pour prévenir les inversions de taux, améliorer la composition en AG du lait tout en maintenant des performances techniques élevées. L'ensemble de ces données est intéressant dans la mesure où l'utilisation actuelle de sels de Ca d'huile de palme pourrait être remise en cause du fait de l'accroissement d'acide palmitique qu'elle génère dans le lait. Cependant du fait de l'utilisation actuelle de l'huile issue de graine d'oléo-protéagineux à des fins d'alimentation humaine ou de diester, il apparaît que des travaux visant à étudier l'apport de tourteaux gras de colza sur les performances des chèvres pourraient être conduits.

\* D'un point de vue mécaniste, plusieurs axes pourraient prolonger nos travaux :

➤ Il conviendrait d'associer l'infusion duodénale de t10,c12-C18:2 avec la mesure simultanée des activités enzymatiques, des ARNm voire de l'activité des gènes des enzymes de la lipogénèse afin d'identifier les mécanismes par lesquels la réponse caprine de la synthèse des AG courts et moyens diffère de la réponse bovine.

➤ Il apparaît intéressant de comparer les rôles respectifs du t10,c12-C18:2 et du t10-C18:1 sur l'activité  $\Delta^9$ -désaturase mammaire ainsi que leur rôle sur les enzymes de la lipogénèse. Les travaux récents établis à l'URH de Theix par l'équipe de Y. Chilliard montre qu'il est possible de produire des MG laitières enrichies en t10-C18:1 (Roy et al., 2006) qui pourraient être infusées au niveau duodénal et dont la réponse pourrait être comparée à celle du t10,c12-C18:2 selon des approches définies ci-dessus.

➤ Enfin, il n'existe que très peu de données sur la façon dont la mamelle prélève les AG de configuration *trans* pour leur sécrétion dans le lait. La mise en place d'étude de différences artério-veineuses, en particulier lors d'infusion des AG évoqués ci-dessus pourrait être entreprise.

# Références bibliographiques

- *Références cités dans* :

- Introduction générale [I]
- Étude bibliographique [B]
- Aspects zootechniques - article 1 [Z1] et article 2 [Z2]
- Aspects digestifs - article 3 [F]
- Aspects métaboliques - article 4 [M1] et article 5 [M2]
- Discussion générale [D]
- Conclusions [C]

- Abel-Caines, S.F., Grant, R.J., Klopfenstein, T.J., Winowiski, T., Barney, N. 1998.** Influence of nonenzymatically browned soybeans on ruminal fermentation and lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 1036-1045. [B]
- Abijaoudé, J.A., Morand-fehr, P. Tessier, J., Schmidely, P., Sauvant, D. 2000.** Influence of forage:concentrate ratio and type of starch in the diet on feeding behaviour, dietary preferences, digestion, metabolism and performance of dairy goats in mid lactation. *Animal Science*, 71, 359-368. [Z2, D]
- AbuGhazaleh, A.A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Whlock, L.A. 2002.** Fatty acid profiles of milk and rumen digesta from cows fed fish oil, extruded soybeans or their blend. *Journal of Dairy Science*, 85, 2266-2276. [F]
- Akraim, F. 2005.** Effet du traitement thermique des graines de lin sur la biohydrogénation ruminale des acides gras polyinsaturés et la qualité de la matière grasse du lait de vache. Thèse de docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (Fra), Spécialité Science Agronomique, Productions Animales, 137p. [B]
- Aldrich, C.G., Merchen, N.R., Drackley, J.K., Gonzalez, S.S., Fahey Jr, G.C., Berger, L.L. 1997.** The effects of chemical treatment of whole canola seed on lipid and protein digestion by steers. *Journal of Animal Science*, 75, 502-511. [B]
- 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. [B, D]
- Andrade, P.V.D., Schmidely, P. 2006.** Effect of duodenal infusion of *trans*10,*cis*12-CLA on milk performance and milk fatty acid profile in dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with rolled canola seed. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 31-48. [M2]
- Ashes, J.R., Gulati, S.K., Scott, T.W. 1997.** Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *Journal of Dairy Science*, 80, 2204-2212. [I, B]
- Ashes, J.R., Vincent-Welch, P.S., Gulati, S.K., Scott, T.W., Brown, G.H. 1992.** Manipulation of the fatty acid composition of milk by feeding protected canola seeds. *Journal of Dairy Science*, 75, 1090-1096. [B]

- Barber**, M.C., Clegg, R.A., Travers, M.T., Vernon, R.G. **1997**. Lipid metabolism in the lactating mammary gland. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1347, 101-126. [I, B]
- Bas**, P., Archimède, H., Rouzeau, A., Sauvart, D. **2003**. Fatty acid composition of mixed-rumen bacteria: effect of concentration and type of forage. *Journal of Dairy Science*, 86, 2940-2948. [F]
- Bateman**, H.G., II, Jenkins, T.C. **1998**. Influence of soybean oil in high fiber diets fed to nonlactating cows on ruminal unsaturated fatty acids and nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science*, 81, 2451-2459. [B]
- Bauman**, D.E., **Davis**, C.L. **1974**. Biosynthesis of milk fat. In: *Lactation, a comprehensive treatise*. V.2 Biosynthesis and secretion of milk / diseases. Ed. Larson, B.L. et Smith, V.R. Academic Press. (US) Chap.2 , p.31-75. [I, B]
- Bauman**, D.E., Baumgard, L.H., Corl, B.A., Griinari, J.M. **1999**. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 2-15. [I]
- Bauman**, D.E., Corl, B.A., Baumgard, L.H., Griinari, J.M., **2001**. Conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow. In: P. C. Garnsworthy and J. Wiseman (Eds), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham University Press, Nottingham, (UK). p 221-250. [Z1, M1]
- Bauman**, D.E., **Griinari**, J.M. **2001**. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, 70, 15-29. [I, B, Z1, F, D]
- Baumgard**, L.H., Corl, B.A., Dwyer, D.A., Saebo, A., Bauman, D.E. **2000**. Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 278, R179-R184. [I, B, Z1, Z2, M1, M2, D]
- Baumgard**, L.C., Sangster, J.K., Bauman, D.E. **2001**. Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid (CLA). *Journal of Nutrition*, 131: 1764-1769. [I, M1, D]
- Baumgard**, L.H., Matitashvili, E., Corl, B.A., Dwyer, D.A., Bauman, D.E. **2002**. *trans*-10,*cis*-12 conjugated linoleic acid decreases lipogenic rates and expression of genes involved in milk lipid synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2155-2163. [M1, M2, D]
- Bayourthe**, C., Enjalbert, F., Moncoulon, R. **2000**. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science*, 83, 690-696. [B]
- Bernard**, L., Leroux, C. Bonnet, M., Rouel, J., Martin, P., Chilliard, Y. **2005a**. Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in mammary gland and adipose tissues of lactating goats. *Journal of Dairy Research*, 72, 250-255. [B]
- Bernard**, L., Rouel, J., Leroux, C., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Legrand, P., Chilliard, Y. **2005b**. Mammary lipid metabolism and milk fatty acid secretion in Alpine goats fed vegetable lipids. *Journal of Dairy Science*, 88, 1478-1489. [B, D, Z1, Z2]

- Bessa, R.J.B., Santos-Silva, J., Ribeiro, J.M.R., Portugal, A.V. 2000.** Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livestock Production Science*, 63, 201-211. [I, B]
- Bickerstaffe, R., Noakes, D.E., Annison E.F. 1972** Quantitative aspects of fatty acid biohydrogenation, absorption and transfer into milk fat in the lactating goat, with special reference to the cis- and trans-isomers of octadecenoate and linoleate. *Biochemical Journal*, 130, 607-617. [D]
- Calderon, I., De Peters, E.J., Smith, N.E., Franke A.A. 1984.** Composition of goat's milk: changes within milking and effects of a high concentrate diets. *Journal of Dairy Science*, 67, 1905-1911. [I, Z1, M2, D]
- Chelikani, P.K., Bell, J.A., Kennelly, J.J. 2004.** Effects of feeding or abomasal infusion of canola oil in Holstein cows. 1. Nutrient digestion and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 71, 279-287. [B, F]
- Chichlowski, M.W., Schroeder, J.W., Park, C.S., Keller, W.L., Schimek, D.E. 2005.** Altering the fatty acids in milk fat by including canola seed in dairy cattle diets. *Journal Dairy Science*, 88, 3084-3094. [B, Z1]
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001.** Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières: acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Production Animale*, 14, 323-335. [I, B]
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. 2003.** A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal of Dairy Science*, 86, 1751-1770. [I, B, Z1, Z2, M1, D]
- Chilliard, Y., Ferlay, A. 2004.** Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reproduction, Nutrition, Development*, 44, 467-492. [B, Z1, M1, M2, D]
- Choi, N-J., Imm, J.Y., Oh, S., Kim, B.C., Hwang, H-J., Kim, Y.J. 2005.** Effect of pH and oxygen on conjugated linoleic acid (CLA) production by mixed rumen bacteria from cows fed high concentrate and high forage diets. *Animal Feed Science Technology*, 123, 643-653. [B]
- Chouinard, P.Y., Girard, V., Brisson, G.J. 1997a.** Performance and profiles of milk fatty acids of cows fed full fat, heat-treated soybeans using various processing methods. *Journal of Dairy Science*, 80, 334-342. [B]
- Chouinard, P.Y., Levesque, J., Girard, V., Brisson, G.J. 1997b.** Dietary soybeans extruded at different temperatures: milk composition and in situ fatty acid reactions. *Journal of Dairy Science*, 80, 2913-2924. [B]
- Chouinard, P.Y., Girard, V., Brisson, G.J. 1998.** Fatty acid profile and physical properties of milk fat from cows fed calcium salts of fatty acids with varying unsaturation. 1998. *Journal of Dairy Science*, 81, 471-481. [B, F]

- Chouinard, P.Y., Corneau, L., Barbano, D.M., Metzger, L.E., Bauman, D.E. 1999.** Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Journal of Nutrition*, 129, 1579-1584. [D]
- Chouinard, P.Y., Corneau, L., Butler, W.R., Chilliard, Y., Drackely, J.K., Bauman D.E. 2001.** Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentrations in milk fat. *Journal of Dairy Science*, 84, 680-690. [Z2]
- Clapperton, J.L., Kelly, M.E., Banks, J.M., Rook, J.A.F. 1980.** The production of milk rich in protein and low in fat, the fat having a high polyunsaturated fatty acid content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31, 1295-1302. [B]
- Clegg, R.A., Barber, M.C., Pooley, L., Ernens, I., Larondelle, Y., Travers, M.T. 2001.** Milk fat synthesis and secretion: molecular and cellular aspects. *Livestock Production Science*, 70, 3-14. [B]
- Collomb, M., Sieber, R., Bütikofer, U. 2004a.** CLA isomers in milk fat from cows fed diets with high levels of unsaturated fatty acids. *Lipids*, 39, 355-364. [B]
- Collomb, M., Sollberger, H., Bütikofer, U., Sieber, R., Stoll, W., Schaeren, W. 2004b.** Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflower seed on the fatty acid composition of milk fat. *International Dairy Journal*, 14, 549-559. [B]
- Christensen, R.A., Clark, J.H., Drackley, J.K., Blum, S.A. 1996.** Fatty acid flow to the duodenum and in milk from cows fed diets that contained fat and nicotinic acid. *Journal of Dairy Science*, 81, 1078-1088. [F]
- Dayani, O., Ghorbani, G., Entz, T., Ross, C.M., Shah, M.A., Beauchemin, K.A., Mir, P.S., Mir, Z. 2004.** Effect of dietary soybean or sunflower seeds on milk production, milk fat acid profile and yield of conjugated linoleic acid. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 113-124. [B]
- Delbecchi, L., Ahnadi, C.E., Kennelly, J.J., Lacasse, P. 2001.** Milk fatty acid composition and mammary lipid metabolism in Holstein cows fed protected or unprotected canola seeds. *Journal of Dairy Science*, 84, 1375-1381. [B]
- DePeters, E.J., Taylor, S.J., Franke, A.A., Aguirre, A. 1985.** Effects of feeding whole cottonseed on composition of milk. *Journal of Dairy Science*, 68, 897-902. [B]
- Dhiman, T.R., Helmink, E.D., McMahon, D.J., Fife, R.L., Pariza, M.W. 1999.** Conjugated linoleic acid content of milk and cheese from cows fed extruded oilseeds. *Journal of Dairy Science*, 82, 412-419. [B]
- Doreau, M., Chilliard, Y. 1997.** Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition*, 78, Suppl. 1, S15-S35. [B, F]
- Duckett, S.W., Andrae, J.G., Owens, F.N. 2002.** Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science*, 80, 3353-3360. [F]



- Erasmus, L.J., Bester, Z., Fourie, T., Coertze, R.J., Hall, L. 2004.** Effect of the level of rumen protected CLA supplementation on milk yield and composition in Saanen goats. *South African Journal of Animal Science*, 34 (Supplement 1), 42-45. [I, D]
- Enjalbert, F., Nicot, M.C., Bayourthe, C., Vernay, M., Moncoulon, R. 1997.** Effects of dietary calcium soaps of unsaturated fatty acids on digestion, milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Research*, 64, 181-195. [F]
- European Food Safety Agency (EFSA), 2004.** Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the presence of *trans* fatty acids in foods and the effect on human health of the consumption of trans fatty acids. *The EFSA Journal*, 81, 1-49. [I, Z1]  
([http://www.efsa.eu.int/science/nda/nda\\_opinions/catindex\\_en.html](http://www.efsa.eu.int/science/nda/nda_opinions/catindex_en.html)).
- Ferlay A., Rouel J., Chabosseau J.M., Capitan P., Raynal-Ljutovac K., Chilliard Y. 2003.** Interactions between raygrass preservation and high-oleic sunflower oil supplementation on goat milk composition, including *trans* and conjugated fatty acids. In: van der Honing Y (Ed), Wageningen Acad Publ (NL), Book of Abstracts of the 54th Annual Meeting of European Association for Animal Production, Rome, Italy, 31 August–3 September 2003, p 350. [M1]
- Focant, M., Mignolet, E., Marique, M., Clabots, F., Breyne, T., Dalemans, D., Larondelle, Y. 1998.** The effect of vitamin E supplementation of cow diets containing rapeseed and linseed on the prevention of milk fat oxidation. *Journal of Dairy Science*, 81, 1095-1101. [B]
- Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G.A.S. 1957.** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226:497-509. [Z1, Z2, M1, F]
- Giesy, J.G., Mc Guire M.A., Shaffi B., Hanson T.W. 2002.** Effect of dose of calcium salts of conjugated linoleic acid (CLA) on percentage and fatty acids content of milk fat in midlactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2023-2029. [M1]
- Givens, D.I., Allison, R., Blake, J.S. 2003.** Enhancement of oleic acid and vitamin E concentrations of bovine milk using dietary supplements of whole rapeseed and vitamin E. *Animal Research*, 52, 531-542. [B]
- Goetsch, A.L., Detweiler, G., Sahlu, T., Puchala, R., Dawson, L.J. 2001.** Dairy goat performance with different dietary concentrate levels in late lactation. *Small Ruminant Research*, 41, 117-125. [Z2, D]
- Goosen, P.C.L. 1975.** Absorption of long-chain fatty acids by rumen epithelium: experiments in vivo and in vitro. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 35, 296-302. [F]
- Grünari, J.M., Dwyer, D.A., McGuire, M.A., Bauman, D.E., Palmquist, D.L., Nurmela, K.V.V. 1998.** *Trans*-octadenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 1251-1261. [I, B, Z2]

- Griinari, J.M., Corl, B.A., Lacy, S.H., Chouinard, P.Y., Nurmela, K.V.V., Bauman, D.E. 2000.** Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by  $\Delta 9$ -desaturase. *Journal of Nutrition*, 130, 2285-2291. [B]
- Gulati, S.K., Byers, E.B., Byers, Y.G., Ashes, J.R., Scott, T.W. 1997.** Effect of feeding different fat supplements on the fatty acid composition of goat milk. *Animal Feed Science and Technology*, 66, 159-164. [B, Z1, Z2, D]
- Gulati, S.K., Kitessa, S.M., Ashes, J.R., Fleck, E., Byers, E.B., Byers, Y.G., Scott, T.W. 2000.** Protection of conjugated linoleic acids from ruminal hydrogenation and their incorporation into milk fat. *Animal Feed Science and Technology*, 86, 139-148. [M1, D]
- Hansen, H.O., Knudsen, J. 1987.** Effect of exogenous long-chain fatty acids on lipid biosynthesis in dispersed ruminant mammary gland epithelial cells: esterification of long-chain exogenous fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 70, 1344-1349. [B]
- Harfoot, C.G., Hazlewood, G.P. 1988.** Lipid metabolism in the rumen. In: *The rumen microbial ecosystem*. Ed. Hobson, P.N., Elsevier. (UK) Chap 9, p.285- 322. [B, F]
- Hooper, L., Thompson, R.L., Harrison, R.A., Summerbell, C.D., Ness, A.R., Moore, H.J., Worthington, H.V., Durrington, P.N., Higgins, J.P.T., Capps, N.E., Riemersma, R.A., Ebrahim, S.B.J., Smith, G.D. 2006.** Risks and benefits of omega 3 fats for mortality, cardiovascular disease, and cancer: systematic review. *BMJ*, doi:10.1136/bmj.38755.366331.2F. [I]
- Hussein, H.S., Merchen, N.R., Fahey, G.C., Jr. 1996.** Effects of chemical treatment of whole canola seed on digestion of long-chain fatty acids by steers fed high or low forage diets. *Journal of Dairy Science*, 79, 87-97. [F]
- INRA, 1989.** Ruminant Nutrition. Recommended Allowance and Feed Table. R. Jarrige, ed. Inst. Natl. Rec. Agron., Paris (Fr). [Z1, Z2, M1, M2]
- Jahreis, G., Richter, G.H. 1994.** The effect of feeding rapeseed on the fatty-acid composition of milk lipids and on the concentration of metabolites and hormones in the serum of dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 72, 71-79. [B]
- Jenkins, T.C. 1993.** Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76, 3851-3863. [B, F]
- Jiang, J., Bjoerck, L., Fondén, R., Emanuelson, M. 1996.** Occurrence of conjugated *cis-9,trans-11*-octadecadienoic acid in bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 79, 438-445. [Z2, D]
- Kalscheur, K.F., Teter, B.B., Piperova, L.S., Erdman, R.A. 1997a.** Effect of fat source on duodenal flow of trans-C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 2115-2126. [B]
- Kalscheur, K.F., Teter, B.B., Piperova, L.S., Erdman, R.A. 1997b.** Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of trans-C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 2104-2114. [B, Z2, F, D]

- Kawas, J.R., Lopes, J., Danelon, D.L., Lu, C.D. 1991.** Influence of forage-to-concentrate ratios on intake, digestibility, chewing and milk production of dairy goats. *Small Ruminant Research*, 4, 11-18. [D]
- Kelsey, J.A., Corl, B.A., Collier, R.J., Bauman, D.E., 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. [Z1]
- Kennelly, J.J. 1996a.** Producing milk with 2.5% fat - the biology and health implications for dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 161-180. [I, B]
- Kennelly, J.J. 1996b.** The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Animal Feed Science Technology*, 60, 137-152. [B, Z1]
- Khorasani, G.R., Kennelly, J.J. 1998.** Effect of added dietary fat on performance, rumen characteristics, and plasma metabolites of midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 2459-2468. [B]
- Khorasani, G.R., Kennelly, J.J. 2001.** Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in late-lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 1707-1716. [D]
- Khorasani, G.R., Robinson, P.H., De Boer, G., Kennelly, J.J. 1991.** Influence of canola fat on yield, fat percentage, fatty acid profile, and nitrogen fractions in Holstein milk. *Journal of Dairy Science*, 74, 1904-1911. [B]
- Kim, Y.J., Liu, R.H., Rychlik, J.L., Russell, J.B. 2002.** The enrichment of a ruminal bacterium (*Megasphaera elsdenii* YJ-4) that produces the *trans*-10,*cis*-12 isomer of conjugated linoleic acid. *Journal of Applied Microbiology*, 92, 976-982. [F]
- Klieve, A.V., Hennessy D., Ouwkerk D., Forster R.J., Mackie R.I., Attwood G.T. 2003.** Establishing populations of *Megasphaera elsdenii* YE 34 and *Butyrivibrio fibrisolvens* YE 44 in the rumen of cattle fed high grain diets. *Journal of Applied Microbiology*, 595, 621-630. [Z1]
- Kristensen, N.B., Pierzynowski, S.G., Danfaer, A. 2000.** Net portal appearance of volatile fatty acids in sheep intraruminally infused with mixtures of acetate, propionate, isobutyrate, butyrate, and valerate. *Journal of Animal Science*, 78, 1372-1379. [Z1]
- Kucuk, O., Hess, B.W., Ludden, P.A., Rule, D.C. 2001.** Effect of forage:concentrate ratio on ruminal digestion and duodenal flow of fatty acids in ewes. *Journal of Animal Science*, 79, 2233-2240. [F]
- Kucuk, O., Hess, B.W., Rule, D.C. 2004.** Soybean oil supplementation of a high-concentrate diet does not affect site and extent of organic matter, starch, neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminal metabolism and intestinal flow of fatty acids in mimit-fed lambs. *Journal of Animal Science*, 82, 2985-2994. [F]
- Latham, M.J., Storry, J.E., Sharpe, M.E. 1972.** Effect of low roughage diets on the microflora and lipid metabolism in the rumen. *Applied Microbiology*, 24, 871-877. [F]

- LeDoux, M., Rouzeau, A., Bas, P., Sauvant, D. 2002.** Occurrence of *trans*-C18:1 fatty acid isomers in goat milk: effect of two dietary regimens. *Journal of Dairy Science*, 85, 190-197. [B, Z1, M1]
- Leghay-Carmier, F. 1989.** Effets des rations riches en matières grasses sur le métabolisme lipidique des principaux compartiments microbiens du contenu de rumen chez la vache laitière; conséquences sur le flux duodénaux des constituants microbiens. Thèse de docteur de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II (Fra), Spécialité Physiologie Animale, 231p. [F]
- Lock, A.L., Bauman, D.E. 2004.** Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids* 39, 1197-1206. [B]
- Lock, A.L., Teles, B.M., Perfield II, J.W., Bauman, D.E., Sinclair, L.A. 2006.** A Conjugated Linoleic Acid (CLA) Supplement containing *trans*-10, *cis*-12 CLA reduces milk fat synthesis in lactating sheep. *Journal of Dairy Science*, 89, 1525-1532. [D]
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 1998.** Exogenous conjugated linoleic acid isomers reduce bovine milk fat concentration and yield by inhibiting de novo fatty acid synthesis. *Journal of Nutrition*, 128, 2411-2419. [M1, D]
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 2001.** Alterations in blood plasma and milk fatty acid profiles of lactating Holstein cows in response to ruminal infusion of a conjugated linoleic acid mixture. *Animal Research*, 50, 463-476. [F]
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 2003a.** Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acids (CLA) alter profiles of 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 103, 63-83. [B]
- Loor, J.J., Bandara A.B.P.A., Herbein, J.H. 2002a.** Characterization of 18:1 and 18:2 isomers produced during microbial biohydrogenation of unsaturated fatty acids from canola and soya bean oil in the rumen of lactating cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 86, 422-432 [B, F]
- Loor J.J., Ferlay A., Doreau M., Chilliard Y. 2002b.** Intestinal supply of *trans*10,*cis*12-18:2 lowers milk fat output in Holstein cows fed a high- or low-fiber diet with two levels of linseed oil. *Journal of Dairy Science*, 85 (suppl 1), 297. [M1, M2, D]
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 2003b.** Reduced fatty acid synthesis and desaturation due to exogenous *trans*10,*cis*12-CLA in cows fed oleic or linoleic oil. *Journal of Dairy Science*, 86, 1354-1369. [B, Z3, M1, M2, D]
- Loor, J.J., Ueda, K., Ferlay, A., Chilliard, Y., Doreau, M. 2004.** Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of *trans* fatty acids and conjugated linoleic acids in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 2472-2485. [F, Z1]
- Loor, J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M., Chilliard, Y. 2005a.** 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. [B, Z2, F]

- Loor, J.J., Ferlay, A., Ollier, A., Ueda, K., Doreau, M., Chilliard, Y. 2005b.** High-concentrate diets and polyunsaturated oils alter trans conjugated isomers in bovine rumen, blood, and milk. *Journal of Dairy Science*, 88, 3986-3999 [B]
- Loor, J.J., Ueda, K., Ferlay, A., Chilliard Y., Doreau, M. 2005c.** Intestinal flow and digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids (CLA) in dairy cows fed a high-concentrate diet supplemented with fish oil, linseed oil, or sunflower oil. *Animal Feed Science and Technologie*, 119, 203-225. [F]
- Mackie, T.R., Kay, J.K., Auld, M.J., McGibbon, A.K.H., Philpott, B.A., Baumgard, L.H., Bauman, D.E. 2003.** Effects of abomasal infusion of conjugated linoleic acid on milk fat concentration and yield from pasture-fed dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 644-652. [M1]
- Madison-Anderson, R.J., Schingoethe, D.J., Brouk, M.J., Baer, R.J., Lentsch, M.R. 1997.** Response of lactating cows to supplemental unsaturated fat and niacin. *Journal of Dairy Science*, 80, 1329-1338. [B]
- Markus, S.B., Wittenberg, K.M., Ingalls, J.R., Undi, M. 1996.** Production responses by early lactation cows to whole sunflower seed or tallow supplementation of a diet based on barley. *Journal of Dairy Science*, 79, 1817-1825. [B]
- Martin J-C., Valeille, K. 2002.** Conjugated linoleic acids: all the same or to everyone its own function? *Reproduction, Nutrition, Developpement*, 42, 525-536. [M1]
- Massart-Lëen, A.M., De Pooter, H., Decloedt, M., Schamp, N. 1981.** Composition and variability of the branched-chain fatty acid fraction in the milk of goats and cows. *Lipids*, 16, 286-292. [B, Z2]
- Massart-Lëen, A.M., Roets, E., Peeters, G., Verbeke, R. 1983.** Propionate for fatty acid synthesis by the mammary gland of the lactating goat. *Journal of Dairy Science*, 66, 1445-1454. [B]
- McGuffey, R.K., Schingoethe, D.J. 1982.** Whole sunflower seeds for high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 65, 1479-1483. [F]
- Middaugh, R.P., Baer, R.J., Casper, D.P., Schingoethe, D.J., Seas, S.W. 1988.** Characteristics of milk and butter from cows fed sunflower seeds. *Journal of Dairy Science*, 71, 3179-3187 [B]
- Mir, Z., Goonewardene, L.A., Okine, E., Jaegar, S., Scheer, H.D. 1999.** Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acids in goat milk. *Small Ruminant Research*, 33, 137-143. [B, Z1, Z2, D]
- Mohamed, O.E., Satter, L.D., Grummer, R.R., Ehle, F.R. 1988.** Influence of dietary cottonseed and soybean on milk production and composition. *Journal of Dairy Science*, 71, 2677-2688. [B]
- Mulligan, F.J., Caffrey, P.J., Rath, M., Callan, J.J., Brophy, P.O., O'Mara, F.P. 2002.** An investigation of feeding level effects on digestibility in cattle for diets based on grass silage and high fibre concentrates at two forage:concentrate ratios. *Livestock Production Science*, 77, 311-323. [F]

- Murphy, M., Udén, P., Palmquist, D.L., Wiktorsson, H. 1987.** Rumen and total diet digestibilities in lactating cows fed diets containing full-fat rapeseed. *Journal of Dairy Science*, 70, 1572-1582. [F]
- Mustafa, A.F., Chouinard, P.Y., Cristensen, D.A. 2003.** Effects of feeding micronised flaxseed on yield and composition of milk from Holstein cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 920-926. [B]
- NRC. 1981.** In: Natl. Acad. Sci. (Ed), Nutrients Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat goats in Temperate and Tropical Countries. Washington, DC, (US).
- Nsahlai, I.V., Goetsch, A.L., Luo, J., Johnson, Z.B., Moore, J.E., Sahl, T., Ferrell, C.L., Galyean, M. L. Owens, F. N. 2004.** Metabolizable protein requirements of lactating goats. *Small Ruminant Research*, 53, 327-337. [Z1]
- Offer, N.W., Marsden, M., Phipps, R.H. 2001.** Effect of oil supplementation of a diet containing a high concentration of starch on levels of *trans* fatty acids and conjugated linoleic acids in bovine milk. *Animal Science*, 73, 533-540. [B]
- Okine, E.K., Goonewardene, L.A., Mir, Z., Mir, P., Wang, Z., Chanmugan, P.S. 1999.** Influence of canola oil on the fatty acid profile in goats' milk. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 323-325. [Z2]
- Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., Barbano, D.M. 1993.** Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science*, 76, 1753-1771. [I, B]
- Park Y., Storkson J.M., Ntamby J.M., Cock M.E., Sih C.J., Pariza M.W. 2000.** Inhibition of hepatic stearyl-CoA desaturase activity by *trans*-10,*cis*-12 conjugated linoleic acid and its derivatives. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1486, 285-292. [M1]
- Perfield II, J.W., Saebo, A., Bauman, D.E. 2004.** Use of conjugated linoleic acid (CLA) enrichments to examine the effects of *trans*-8, *cis*-10 CLA, and *cis*-11, *trans*-13 CLA on milk fat synthesis. *Journal of Dairy Science*, 87, 1196-1202. [B, M1, D]
- Peterson, D.G., Baumgard, L.H., Bauman, D.E. 2002a.** Milk fat response to low doses of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid (CLA). *Journal of Dairy Science*, 85, 1764-1766. [M1]
- Peterson, D.G., Kelsey, J.A., Bauman, D.E., 2002b.** Analysis of variation in *cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2164-2172. [Z1]
- Peterson, D.G., Matitashvili, E.A., Bauman, D.E. 2003.** Diet-induced milk fat depression in dairy cows results in increased *trans*-10, *cis*-12 CLA in milk fat and coordinate suppression of mRNA abundance for mammary enzymes involved in milk fat synthesis. *Journal of Nutrition*, 133, 3098-3102. [B, Z1, Z2]
- Petit, H.V., Dewhurst, R.J., Scollan, N.D., Proulx, J.G., Khalid, M., Haresign, W., Twagiramungu, H., Mann, G.E. 2002.** Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. *Journal of Dairy Science*, 85, 889-899. [B]

- Petit, H.V. 2003.** Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed formaldehyde treated flaxseed or sunflower seed. *Journal of Dairy Science*, 86, 2637-2646. [B]
- Piperova, L.S., Teter, B.B., Bruckental, I., Sampugna, J., Mills, S.E., Yurawecz, M.P., Fritsche, J., Ku, K., Erdman, R.A. 2000.** Mammary lipogenic enzyme activity, trans fatty acids and conjugated linoleic acids are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. *Journal of Nutrition*, 130, 2568-2574. [B, Z1, M1, M2]
- Piperova, L.S., Sampugna, J., Teter, B.B., Kalscheur, K.F., Yurawecz, M.P., Ku, Y., Morehouse, K.M., Erdman, R.A. 2002.** Duodenal and milk trans octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of *cis*-9-containing CLA in lactating dairy cows. *Journal of Nutrition*, 132, 1235–1241. [B, Z1, F, D]
- Rafalowski, W., Park, C.S. 1982.** Whole sunflower seed as a fat supplement for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 65, 1484-1492. [B]
- Roche, H.M., Noone, E., Nugent, A., Gibney, M.J. 2001.** Conjugated linoleic acid: a novel therapeutic nutrient? *Nutrition Research Reviews*, 14, 173-187. [I]
- Romo, G.A., Casper, D.P., Erdman, R.A., Teter, B.B. 1996.** Abomasal infusion of *cis* or *trans* fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 79, 2005-20015. [I]
- Rouel, J., Gaborit, P., Chabosseau, J.M., Raynal, K., Ferlay, A., Lauret, A., Chilliard, Y. 2002.** Effets de la nature du fourrage et de la supplémentation lipidique sur la composition en acides gras du lait et sur la qualité sensorielle des produits laitiers caprins. In 9èmes *Rencontres, Recherches, Ruminants*. Paris, France, 4-5 Décembre 2002., 359-362. [D]
- Roy, A., Ferlay, A., Chilliard Y. 2006.** Production of butter fat rich in *trans*10-C18:1 for use in biomedical studies in rodents. *Reproduction, Nutrition, Development*, 46, 211-218. [C]
- Sackmann, J.R., Duckett, S.K., Gillis, M.H., Realini, C.E., Parks, A.H., Eggelston, R.B. 2003.** Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science*, 81, 3174-3181. [M1, F]
- Santini, F.J., Lu, C.D., Potchoiba, M.J., Fernandez, J.M., Coleman, S.W. 1992.** Dietary fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats fed alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, 75, 209–219. [D]
- SAS/STAT User's Guide. Release 8 edition 2000.** SAS Inst. Inc., Cary, NC. [Z1, Z2, M1, M2, F]
- Sauvant, D., Morand-Fehr, P. 2000.** Quantitative analysis of dairy goat response to concentrate supply. In 7th *International Conference on Goats*, Tours, France, 15-21 May 2000. Tome 1:80-81. [Z1, D]
- Sauvant, D., Bas, P. 2001.** La digestion des lipids chez le ruminant. *INRA Productions Animales* 14, 303-310. [I, B, F]

- Sauvant D.**, Perez, J.-M., Tran, G. (ed.) **2002**. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Ed. Sauvant D., Perez, J.-M., Tran, G. INRA (FR) 301p. [B, Z2, D]
- Shingfiled**, K.J., Reynolds, C.K., Lupoli, B., Toivonen, V., Yurawecz, M.P., Delmonte, P., Griinari, J.M., Grandison, A.S., Beever, D.E. **2005**. Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. *Animal Science*, 80, 225-238. [Z2, D]
- Shingoethe**, D.J. **1996**. Dietary influence on protein level in milk and milk yield in dairy cows. *Animal Feed Science Technology*, 60, 181-190. [B]
- Shingoethe**, D.J., Brouk, M.J., Lightfield, K.D., Baer, R.J. **1996**. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated fat from extruded soybeans or sunflower seeds. *Journal of Dairy Science*, 79, 1244-1249. [B]
- Schmidely**, P., **Sauvant**. D. **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 Productions Animales*. 14, 337-354. [I, B, Z1, Z2, M1]
- Schmidely**, P., Bas, P., Rouzeau, A., Sauvant. D. **2002**. Influence of extruded soya seeds and milk yield on *trans* fatty acid and CLA on goat milk. In Rencontres Recherches Ruminants, 9, 366. [Z1, Z2]
- Schmidely**, Ph., **Morand-Fehr**, P. **2004**. Effects of intravenous infusion of *trans*-10,*cis*-12 or *cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid (CLA) on milk fat synthesis and composition in dairy goats during mid-lactation. *South African Journal of Animal Science*, 34 (Supplement 1), 195-197. [I, D]
- Schmidely**, Ph., Morand-Fehr, P., Tessier, J. **2004**. Effect of extruded rapeseed or extruded sunflower seeds on milk performance, and fatty acid composition of goat milk In : 'The future of the sheep and goat dairy sector' Proceedings of the Symposium of International Dairy Federation and International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM). Saragoza, Spain , 28-30 October 2004. [B, D]
- Schmidely**, P., Morand-Fehr, P., Sauvant, D. **2005**. Influence of extruded soybeans with or without bicarbonate on milk performance and fatty acid composition of goat milk. *Journal of Dairy Science*, 88, 757-765. [B, D]
- Scholljegerdes**, E.J., Hess, B.W., Moss, G.E., Hixon, D.L., Rule, D.C. **2004**. Influence of supplemental cracked high-linoleate or high-oleate safflower seeds on site and extent of digestion in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82, 3577-3588. [F]
- Secchiari**, P., Antongiovanni, M., Mele, M., Serra, A., Buccioni, A., Ferruzzi, G., Paoletti, F., Petacchi, F. **2003**. Effect of kind of dietary fat on the quality of milk fat from Italian Friesian cows. *Livestock Production Science*, 83, 43-52. [B]



- Siddons, R.C.**, Paradine J., Beever D.E., Cornell, P.R. **1985**. Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta-flow marker. *British Journal of Nutrition*, 54, 509-519. [F]
- Smith, N.E.**, Collar, L.S., Bath, D.L., Dunkley, W.L., Franke, A.A. **1980**. Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 64, 2209-2215. [B]
- Tajima, K.**, Aminov, R.I., Nagamine, T., Matsui, H., Nakamura, M., Benno., Y. **2001**. Diet-dependent shifts in the bacterial population of the rumen revealed with real-time PCR. *Applied Environmental Microbiology*, 67, 2766-2774. [I]
- Tice, E.M.**, Eastridge, M.L., Firkins, J.L. **1993**. Raw soybeans and roasted soybeans of different particle sizes. 1. Digestibility and utilization by lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76, 224-235. [B]
- Tice, E.M.**, Eastridge, M.L., Firkins, J.L. **1994**. Raw soybeans and roasted soybeans of different particle sizes. 2. Fatty acid utilization by lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 166-180. [B]
- Ueda, K.**, Ferlay, A., Chabrot, J., Loor, J.J., Chilliard, Y., Doreau, M. **2003**. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios. *Journal of Dairy Science*, 86, 3999-4007. [F]
- Van Soest, P.J.**, Robertson, J.B., Lewis, B.A. **1991**. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. [Z1, Z2, M1, F]
- Veth M. J. de**, Griinari, J.M., Pfeiffer, A-M., Bauman, D.E. **2004**. Effect of CLA on milk fat synthesis in dairy cows: comparison by inhibition by methyl esters and free fatty acids, and relationship among studies. *Lipids*, 30, 365-372. [M1, M2, D]
- Vieira, D.M.**, Charmley, L.L., Charmley, E., Lee, A.J. **2001**. The effect of feeding soybean oil to mid-lactation dairy cows on milk production and composition and on diet digestion. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 425-428. [B]
- Wang, J.H.**, **Song, M.K.** **2003**. pH affects the in vitro formation of *cis*-9, *trans*-11 CLA and *trans*-11 octadecenoic acide by ruminal bacteria when incubated with oilseeds. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 16, 1743-1748. [B]
- Ward, A.T.**, Wittenberg., K.M., Przybylski, R. **2002**. Bovine milk fatty acid profiles produced by feeding diets containing solin, flax and canola. *Journal of Dairy Science*, 85, 1191-1196. [B]
- Wheatherburn, M. W.**, 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*, 38, 971-977. [Z1]
- Williams, C.M.** **2000**. Dietary fatty acids and human health. *Annales de Zootechnie*, 49, 165-180. [I, Z1, Z2]
- Wiesen, B.**, Kincaid, R.L., Hillers, J.K., Harrison, J.H. **1990**. The use of rapessed screenings in diets for lactating cows and subsequent effects on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 73, 3555-3562. [B]

- Wonsil**, B.J., Herbein, J.H., Watkins, B.A. **1994**. Dietary and ruminally derived *trans*-18:1 fatty acids alter bovine milk lipids. *Journal of Nutrition*, 124, 556-565. [F]
- Wu**, Z., **Huber**, J.T. **1994**. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: a review. *Livestock Production Science*, 39, 141-155. [B]
- Yurawecz**, M.P., Roach, J.A.G., Sehat, N., Mossoba, M.M., Kramer, J.K.G., Fritsche, J., Steinhart, H., Ku, Y. **1998**. A new conjugated linoleic acid isomer, 7 trans, 9 cis-octadecadienoic acid, in cow milk, cheese, beef and human milk and adipose tissue. *Lipids*, 33, 803-809. [B, M1]
- Zheng**, H.C., Liu, J.X., Yao, J.H., Yuan, Q., Ye, H.W., Ye, J.A., Wu, Y.M. **2005**. Effects of dietary sources of vegetable oils on performance of high-yielding lactating cows and conjugated linoleic acids in milk. *Journal of Dairy Science*, 88, 2037-2042. [B]

- *Références utilisées dans la base de données*

- Abel-Caines, S.F., Grant, R.J., Klopfenstein, T.J., Winowiski, T., Barney, N. 1998. Influence of nonenzymatically browned soybeans on ruminal fermentation and lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 1036-1045.
- AbuGhazaleh, A.A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Whitlock, L.A. 2002. Fatty acid profiles of milk and rumen digesta from cows fed fish oil, extruded soybeans or their blend. *Journal of Dairy Science*, 85, 2266-2276.
- AbuGhazaleh, A. A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Whitlock, L.A. 2002. Feeding fish meal and extruded soybeans enhances the conjugated linoleic acid (CLA) content of milk. *Journal of Dairy Science*, 85, 624-631.
- Aldrich, C. G. M., N. R.; Drackley, J. K; Fahey, G. C., Jr; Berger, L. L. 1997. The effects of chemical treatment of whole canola seed on intake, nutrient digestibilities, milk production, and milk fatty acids of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, 75, 512-521.
- Ashes, J.R., Vincent-Welch, P.S., Gulati, S.K., Scott, T.W., Brown, G.H. 1992. Manipulation of the fatty acid composition of milk by feeding protected canola seeds. *Journal of Dairy Science*, 75, 1090-1096.
- Atwal, A.S., Hidioglou., M., Kramer, J.K.G. 1991. Effects of feeding Protec® and  $\alpha$ -tocopherol on fatty acid composition and oxidative stability of cow's milk. *Journal of Dairy Science*, 74, 140-145.
- Baer, R.J., Lentsch, M.R., Schingoethe, D.J., Madison-Anderson, R.J., Kasperson, K.M. 1996. Characteristics of milk and reduced fat cheddar cheese from cows fed extruded soybeans and niacin. *Journal of Dairy Science*, 1127-1136.

- Banks, W., Clapperton, J.L., Girdler, A.K. 1990. Effect of dietary unsaturated fatty acids in various forms on the de novo synthesis of fatty acids in the bovine mammary gland. *Journal of Dairy Research*, 74, 179-185.
- Bayourthe, C., Enjalbert, F., Moncoulon, R. 2000. Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science*, 83, 690-696.
- Casper D.P., Schingoethe D.J., Eisenbeisz, W.A. 1990. Response of early lactation cows to diets that vary in ruminal degradability of carbohydrates and amount of fat. *Journal of Dairy Science*, 73, 425-444.
- Chelikani, P.K., Bell, J.A., Kennelly, J.J., 2004. Effects of feeding or abomasal infusion of canola oil in Holstein cows. 1. Nutrient digestion and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 71, 279-287.
- Chichlowski, M.W., Schroeder, J.W., Park, C.S., Keller, W.L., Schimek, D.E. 2005. Altering the fatty acids in milk fat by including canola seed in dairy cattle diets. *Journal Dairy Science*, 88, 3084-3094.
- Chouinard, P.Y., Girard, V., Brisson, G.J. 1997. Lactational response of cows to different concentrations of calcium salts of canola oil fatty acids with or without bicarbonates. *Journal of Dairy Science*, 80, 1185-1193.
- Chouinard, P.Y., Levesque, J., Girard, V., Brisson, G.J. 1997. Dietary soybeans extruded at different temperatures: milk composition and in situ fatty acid reactions. *Journal of Dairy Science*, 80, 2913-2924.
- Chouinard, P.Y., Girard, V., Brisson, G.J. 1997. Performance and profiles of milk fatty acids of cows fed full fat, heat-treated soybeans using various processing methods. *Journal of Dairy Science*, 80, 334-342.
- Chouinard, P.Y., Girard, V., Brisson, G.J. 1998. Fatty acid profile and physical properties of milk fat from cows fed calcium salts of fatty acids with varying unsaturation. 1998. *Journal of Dairy Science*, 81, 471-481.
- Clapperton, J.L., Kelly, M.E., Banks, J.M., Rook, J.A.F. 1980. The production of milk rich in protein and low in fat, the fat having a high polyunsaturated fatty acid content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31, 1295-1302.
- Collomb, M., Sollberger, H., Bütikofer, U., Sieber, R., Stoll, W., Schaeren, W. 2004. Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflower seed on the fatty acid composition of milk fat. *International Dairy Journal*, 14, 549-559.
- Dayani, O., Ghorbani, G., Entz, T., Ross, C.M., Shah, M.A., Beauchemin, K.A., Mir, P.S., Mir, Z. 2004. Effect of dietary soybean or sunflower seeds on milk production, milk fat acid profile and yield of conjugated linoleic acid. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 113-124.

- Deville, E.R., Givens, D.I., Blacke, J.S. 2004. Dietary supplements of whole linseed and vitamin E to increase levels of alfa-linolenic acid and vitamin E. *Animal Research*, 53, 3-12.
- Delbecchi, L., Ahnadi, C.E., Kennelly, J.J., Lacasse, P. 2001. Milk fatty acid composition and mammary lipid metabolism in Holstein cows fed protected or unprotected canola seeds. *Journal of Dairy Science*, 84, 1375-1381.
- DeLuca, D.D., Jenkins T.C. 2000. Feeding oleamide to lactating Jersey cows. 2. Effects on nutrient digestibility, plasma fatty acids, and hormones. *Journal of Dairy Science*, 83, 569-576.
- DePeters, E.J., Taylor, S.J., Franke, A.A., Aguirre, A. 1985. Effects of feeding whole cottonseed on composition of milk. *Journal of Dairy Science*, 68, 897-902.
- DePeters, E.J., German, J.B., Taylor, S.J., Essex, S.T., Perez-Monti, H. 2001. Fatty acid and triglyceride composition of milk fat from lactating Holstein cows in response to supplemental canola oil. *Journal of Dairy Science*, 84, 929-936.
- Dhiman, T.R., Zanten, K.V., Satter, L.D. 1995. Effect of dietary fat source on fatty acid composition of cow's milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 69, 101-107.
- Dhiman, T.R., Helmink, E.D., McMahon, D.J., Fife, R.L., Pariza, M.W. 1999. Conjugated linoleic acid content of milk and cheese from cows fed extruded oilseeds. *Journal of Dairy Science* 82, 412-419.
- Drackley, J. K., Schingoethe, D.J. 1986. Extruded blend of soybean meal and sunflower seeds for dairy cattle in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 69, 371-384.
- Emanuelson, M., Murphy, M., Lindberg, J.-E. 1991. Effects of heat-treated and untreated full-fat rapeseed and tallow on rumen metabolism, digestibility, milk composition and milk yield in lactating cows. *Animal Feed Science and Technology*, 34, 291-309.
- Enjalbert, F., Nicot, M.C., Bayourthe, C., Vernay, M., Moncoulon, R. 1997. Effects of dietary calcium soaps of unsaturated fatty acids on digestion, milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Research*, 64, 181-195.
- Finn, A.M., Clark, A.K., Drackley, J.K., Schingoethe, D.J., Sahlu, T. 1985. Whole rolled sunflower seeds with or without additional limestone in lactating dairy cattle rations. *Journal of Dairy Science*, 68, 903-913.
- Focant, M., Mignolet, E., Marique, M., Clabots, F., Breyne, T., Dalemans, D., Larondelle, Y. 1998. The effect of vitamin E supplementation of cow diets containing rapeseed and linseed on the prevention of milk fat oxidation. *Journal of Dairy Science*, 81, 1095-1101.
- Givens, D.I., Allison, R., Blake, J.S. 2003. Enhancement of oleic acid and vitamin E concentrations of bovine milk using dietary supplements of whole rapeseed and vitamin E. *Animal Research*, 52, 531-542.
- Gonthier, J., Mustafa, A.F., Berthiaume, R., Petit, H.V., Ouellet, D.R. 2004. Feeding micronized and extruded flaxseed to dairy cows: effects on digestion and ruminal biohydrogenation of long-chain fatty acids. *Canadian Journal of Animal Science*, 85, 705-711.

- Goodridge, J., Ingalls, J.R., Crow, G.H. 2001. Transfer of omega-3 linolenic acid and linoleic acid to milk fat from flaxseed or Linola protected with formaldehyde. *Canadian Journal of Animal Science*, 8, 525-532.
- Grum, D.E., Drackley, J.K., Hansen, L.R., Cremin Jr, J.D. 1996. Production, digestion, and hepatic lipid metabolism of dairy cows fed increased energy from fat or concentrate. *Journal of Dairy Science*, 79, 1836-1849.
- Harrison, J.H., Kincaid, R.L., McNamara, J.P., Waltner, S., Loney, K.A., Riley, R.E., Cronrath, J.D. 1995. Effect of whole cottonseeds and calcium salts of long-chain fatty acids on performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 78, 181-193.
- He, M.L., Mir, P.S., Beauchemin, K.A., Ivan, M., Mir, Z. 2005. Effects of dietary sunflower seeds on lactation performance and conjugated linoleic acid content of milk. *Canadian Journal of Animal Science*, 85, 75-83.
- Holter, J.B., Hayes, H.H., Urban, W.E., Jr., Duthie, A.H. 1992. Energy balance and lactation response in Holstein cows supplemented with cottonseed with or without calcium soap. *Journal of Dairy Science*, 75, 1480-1494.
- Jahreis, G., Richter, G.H. 1994. The effect of feeding rapeseed on the fatty-acid composition of milk lipids and on the concentration of metabolites and hormones in the serum of dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 72, 71-79.
- Jenkins, T.C. 1998. Fatty acid composition of milk from Holstein cows fed oleamide or canola oil. *Journal of Dairy Science*, 81, 794-800.
- Jenkins, J. 2000. Feeding oleamide to lactating jersey cows. 1. Effects on lactation performance and milk fatty acid composition. *Journal of Dairy Science*, 83, 332-337.
- Jenkins, T.C., Bateman, H.G., Block, S.M. 1996. Butylsoyamide increases unsaturation of fatty acids in plasma and milk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 79, 585-590.
- Jenkins, T.C., Jenny, B.F. 1992. Nutrient digestion and lactation performance of dairy cows fed combinations of prilled fat and canola oil. *Journal of Dairy Science*, 75, 796-803.
- Jiang, J., Bjoerck, L., Fondén, R., Emanuelson, M. 1996. Occurrence of conjugated *cis*-9,*trans*-11-octadecadienoic acid in bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 79, 438-445.
- Johnson, K.A., Kincaid, R.L., Westberg, H.H., Gaskins, C.T., Lamb, B.K., Cronrath, J.D. 2002. The effect of oilseeds in diets of lactating cows on milk production and methane emissions. *Journal of Dairy Science*, 85, 1509-1515.
- Jones, R.A., Mustafa, A.F., Christensen, D.A., McKinnon, J.J. 2001. Effects of untreated and heat-treated canola presscake on milk yield and composition of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 89, 97-111.
- Kalscheur, K.F., Teter, B.B., Piperova, L.S., Erdman, R.A. 1997. Effect of fat source on duodenal flow of trans-C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 2115-2126.

- Kelly, M.L., Berry, J.R., Dwyer, D.A., Griinari, J.M., Chouinard, P.Y., Amburgh, M.E. Van, Bauman, D.E. 1998. Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal of Nutrition*, 128, 881-885.
- Khorasani, G.R., Robinson, P.H., De Boer, G., Kennelly, J.J. 1991. Influence of canola fat on yield, fat percentage, fatty acid profile, and nitrogen fractions in Holstein milk. *Journal of Dairy Science*, 74, 1904-1911.
- Khorasani, G.R., Kennelly, J.J. 1998. Effect of added dietary fat on performance, rumen characteristics, and plasma metabolites of midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 2459-2468.
- Kim, Y.K., Schingoethe, D. J., Casper, D.P., Ludens, F.C. 1993. Supplemental dietary fat from extruded soybeans and calcium soaps of fatty acids for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76, 197-204.
- Kowalski, Z. M., Pisulewski, P. M., Spanghero, M. 1999. Effects of calcium soaps of rapeseed fatty acids and protected methionine on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 66, 475-487.
- Loor, J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M., Chilliard, Y. 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.
- Loor, J.J., Ferlay, A., Ollier, A., Ueda, K., Doreau, M., Chilliard, Y. 2005. High-concentrate diets and polyunsaturated oils alter trans conjugated isomers in bovine rumen, blood, and milk. *Journal of Dairy Science*, 88, 3986-3999.
- Loor, J.J., Herbein, J.H., Jenkins, T.C. 2002. Nutrient digestion, biohydrogenation, and fatty acid profiles in blood plasma and milk fat from lactating Holstein cows fed canola oil or canolamide. *Animal Feed Science and Technology*, 97, 65-82.
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 2003a. Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acids (CLA) alter profiles of 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 103, 63-83.
- Loor, J.J., Herbein, J.H. 2003b. Reduced fatty acid synthesis and desaturation due to exogenous trans-10,cis-12-CLA in cows fed oleic or linoleic oil. *Journal of Dairy Science*, 86, 1354-1369.
- Madison-Anderson, R.J., Schingoethe, D.J., Brouk, M.J., Baer, R.J., Lentsch, M.R. 1997. Response of lactating cows to supplemental unsaturated fat and niacin. *Journal of Dairy Science*, 80, 1329-1338.
- Mandevbu, P., Ballard, C.S., Sniffen, C.J., Carter, M.P., Wolford, H.M., Sato, T., Yabuuchi, Y., Block, E., Palmquist, D.L. 2003. Effect of feeding calcium salts of long-chain fatty acids, from palm fatty acid distillate or soybean oil, to high producing dairy cows on milk yield and composition, and on selected blood and reproductive parameters. *Animal Feed Science and Technology*. 108, 25-41.

- Markus, S.B., Wittenberg, K.M., Ingalls, J.R., Undi, M. 1996. Production responses by early lactation cows to whole sunflower seed or tallow supplementation of a diet based on barley. *Journal of Dairy Science*, 79, 1817-1825.
- McCaughy, K. M., DePeters., E.J., Robinson, P.H., Santos, J.E.P., Taylor, S.J., Pareas, J.W. 2005. Impact of feeding whole Upland cottonseed, with or without cracked Pima cottonseed with increasing addition of iron sulfate, on milk and milk fat composition of lactating dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 667-685.
- McGuffey, R.K., Schingoethe, D.J. 1982. Whole sunflower seeds for high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 65, 1479-1483.
- McNamee, B.F., Fearon, A. M., Pearce, J. 2002. Effect of feeding oilseed supplements to dairy cows on ruminal and milk fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 677-684.
- Middaugh, R.P., Baer, R.J., Casper, D.P., Schingoethe, D.J., Seas, S.W. 1988. Characteristics of milk and butter from cows fed sunflower seeds. *Journal of Dairy Science*, 71, 3179-3187.
- Mohamed, O.E., Satter, L.D., Grummer, R.R., Ehle, F.R. 1988. Influence of dietary cottonseed and soybean on milk production and composition. *Journal of Dairy Science*, 71, 2677-2688.
- Murphy, J.J., McNeill, G.P., Connolly, J.F., Glesson, P.A. 1990. Effect of cow performance and milk fat composition of including full fat soyabeans and rapeseeds in the concentrate mixture for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 57, 295-306.
- Murphy, J.J., Connolly, J.F., McNeill. 1995. Effects on milk fat composition and cow performance of feeding concentrates containing full fat rapeseed and maize distillers grains on grass-silage based diets. *Livestock Production Science*, 44, 1-11.
- Mustafa, A.F., Chouinard, P.Y., Cristensen, D.A. 2003. Effects of feeding micronised flaxseed on yield and composition of milk from Holstein cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 920-926.
- Noftsger, S. M., Hopkins, B.A., Diaz, D.E., Brownie, C., Whitlow, L.W. 2000. Effect of whole and expanded-exelled cottonseed on milk yield and blood gossypol. *Journal of Dairy Science*, 83, 2539-2547.
- Offer, N.W., Marsden, M., Dixon, J., Speake, B.K., Thacker, F.E. 1999. Effect of dietary fat supplements on levels of n-3 poly-unsaturated fatty acids, trans acids and conjugated linoleic acid in bovine milk. *Animal Science*, 69, 613-625.
- Offer, N.W., Marsden, M., Phipps, R. H. 2001. Effect of oil supplementation of a diet containing a high concentration of starch on levels of trans fatty acids and conjugated linoleic acids in bovine milk. *Animal Science*, 73, 533-540.
- Peterson, D. G., Kelsey, J.A., Bauman, D.E. 2002. Analysis of variation in cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2164-2171.

- Petit, H.V. 2002. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed. *Journal of Dairy Science*, 85, 1482-1490.
- Petit, H.V., Dewhurst, R.J., Scollan, N.D., Proulx, J.G., Khalid, M., Haresign, W., Twagiramungu, H., Mann, G.E. 2002. Milk Production and Composition, Ovarian Function, and Prostaglandin Secretion of Dairy Cows Fed Omega-3 Fats. *Journal of Dairy Science*, 85: 889-899
- Petit, H.V. 2003. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed formaldehyde treated flaxseed or sunflower seed. *Journal of Dairy Science*, 86, 2637-2646.
- Petit, H.V., Dewhurst, R.J., Proulx, J.G., Khalid, M., Haresign, W., Twagiramungu, H. 2001. Milk production, milk composition, and reproductive function of dairy cows fed different fats. *Canadian Journal of Animal Science*, 81: 263-271.
- Petit, H.V., Dewhurst, R.J., Scollan, N.D., Proulx, J.G., Khalid, M., Haresign, W., Twagiramungu, H., Mann, G.E. 2002. Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. *Journal of Dairy Science*, 85, 889-899.
- Petit, H.V., Germiquet, C., Lebel, D. 2004. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 3889-3898.
- Piperova, L.S., Teter, B.B., Bruckental, I., Sampugna, J., Mills, S.E., Yurawecz, M.P., Fritsche, J., Ku, K., Erdman, R.A. 2000. Mammary lipogenic enzyme activity, trans fatty acids and conjugated linoleic acids are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. *Journal of Nutrition*, 130, 2568-2574.
- Prieto, J.G., DePeters, E.J., Robinson, P.H., Santos, J.E.P., Pareas, J.W., Taylor, S.J. Increasing dietary levels of cracked pima cottonseed increase plasma gossypol but do not influence productive performance of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 254-267.
- Qiu, X., Eastridge, M.L., Firkins, J.L. 2004. Effects of dry matter intake, addition of buffer, and source of fat on duodenal flow and concentration of conjugated linoleic acid and trans-11 C18:1 in milk. *Journal Dairy Science*, 87, 4278-4286.
- Ramaswamy, N., Baer, R.J., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Kasperson, K.M., Whilock, L.A. 2001. Composition and flavour of milk and butter from cows fed fish oil, extruded soybeans, or their combination. *Journal Dairy Science*, 84, 2144-2151.
- Rafalowski, W., Park, C.S. 1982. Whole sunflower seed as a fat supplement for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 65, 1484-1492.
- Reklewska, B., Oprzadek, A., Reklewski, Z., Panicke, L., Kuczynska, B., Oprzadek, J. 2002. Alternative for modifying the fatty acid composition and decreasing the cholesterol level in the milk of cows. *Livestock Production Science*, 76, 235-243.
- Ryhänen, E.-L., Tallavaara, K., Griinari, J.M., Jaakkola, S., Mantere-Alhonen, S., Shingfield, K.J. 2005. Production of conjugated linoleic acid enriched milk and dairy products from cows



- receiving grass silage supplemented with a cereal-based concentrate containing rapeseed oil. *International Dairy Journal*, 15, 207-217.
- Santos, F. L., Silva, M.T.C., Lana, R.P., Brandão, S.C.C., Vargas, L.H., Abreu, L.R. 2001. Effect of lipids supplementation in the ration on production of conjugated linoleic acid and milk fat composition of dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30: 1931-1938.
- Sarrazin, P., Mustafa, A.F., Chouinard, Y., Raghavan, G.S.V., Sotocinal, S.A. 2004. Performance of dairy cows fed roasted sunflower seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1179-1185.
- Sauer, F. D., Fellner, V., Kinsman, R., Kramer, J. K., Jackson, H. A., Lee, A. J., Chen, S. 1998. Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *Journal of Animal Science*, 76, 906-914.
- Schauff, D. J., Clark, J.H., Drackley, J.K. 1992. Effects of feeding lactating dairy cows diets containing extruded soybeans and calcium salts of long-chain fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 75, 3003-3019.
- Schauff, D.J., Elliot, J.P., Clark, J.H., Drackley, J.K. 1992. Effects of feeding lactating dairy cows diets containing whole soybeans and tallow. *Journal of Dairy Science*, 75, 1923-1935.
- Schingoethe, D.J., Brouk, M.J., Lightfield, K.D., Baer, R.J. 1996. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated fat from extruded soybeans or sunflower seeds. *Journal of Dairy Science*, 79, 1244-1249.
- Secchiari, P., Antogiovanni, M., Mele, M., Serra, A., Buccioni, A., Ferruzzi, G., Petacchi, F. 2003. Effect of kind of dietary fat on the quality of milk fat from Italian Friesian cows. *Livestock Production Science*, 83, 43-52.
- Sol Morales, M., Palmquist, D.L., Weiss W. P. 2000. Effects of Fat Source and Copper on Unsaturation of Blood and Milk Triacylglycerol Fatty Acids in Holstein and Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 2105-2111.
- Smith, N.E., Collar, L.S., Bath, D.L., Dunkley, W.L., Franke, A.A. 1980. Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 64, 2209-2215.
- Solomon, R., Chase, L.E., Ben-Ghedalia, D., Bauman, D. E. 2000. The effect of nonstructural carbohydrate and addition of full fat extruded soybeans on the concentration of conjugated linoleic acid in the milk fat of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 1322-1329.
- Stegeman, G. A., Baer, R. J., Schingoethe, D. J., Casper, D. P. 1992. Composition and flavor of milk and butter from cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 75, 962-970.
- Stegeman, G.A., Casper, D.P., Schingoethe, D.J., Baer, R.J. 1992. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 75: 1936-1945.

- Sullivan, H.M., Bernard, J.K., Amos, H.E., Jenkins, J. K. 2004. Performance of lactating dairy cows fed whole cottonseed with elevated concentrations of free fatty acids. *Journal Dairy Science*, 87, 665-671.
- Tice, E.M., Eastridge, M.L., Firkins, J.L. 1993. Raw soybeans and roasted soybeans of different particle sizes. 1. Digestibility and utilization by lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76, 224-235.
- Tice, E.M., Eastridge, M.L., Firkins, J.L. 1994. Raw soybeans and roasted soybeans of different particle sizes. 2. Fatty acid utilization by lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 166-180.
- Tymchuk, S. M., Khorasani, G. R., Kennelly, J. J. 1998. Effect of feeding formaldehyde- and heat-treated oil seed on milk yield and milk composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 78, 693-700.
- Valdez, F.R., Harrison, J.H., Fransen, S.C. 1988. Effect of feeding corn-sunflower silage on milk production, milk composition, and rumen fermentation of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 71, 2462-2469.
- Ward, A.T., Wittenberg., K.M., Przybylski, R. 2002. Bovine milk fatty acid profiles produced by feeding diets containing solin, flax and canola. *Journal of Dairy Science*, 85, 1191-1196.
- Whitlock, L.A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Baer, R.J., Ramaswamy, N., Kasperson, K.M. 2002. Fish oil and extruded soybeans fed in combination increase conjugated linoleic acids when fed separately. *Journal of Dairy Science*, 85, 234-243.
- Wiesen, B., Kincaid, R.L., Hillers, J.K., Harrison, J.H. 1990. The use of rapessed screenings in diets for lactating cows and subsequent effects on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 73, 3555-3562.
- Wonsil, B. J., Herbein, J. H., Watkins, B.A. 1994. Dietary and ruminally derived trans-18:1 fatty acids alter bovine milk lipids. *Journal of Nutrition*, 124, 556-565.
- Zheng, H.C., Liu, J.X., Yao, J.H., Yuan, Q., Ye, H.W., Ye, J.A., Wu, Y.M. 2005. Effects of dietary sources of vegetable oils on performance of high-yielding lactating cows and conjugated linoleic acids in milk. *Journal Dairy Science*, 88, 2037-2042.

# **Annexes**

## Annexe 1

Andrade, P.V.D., Tessier, J., Schmidely, Ph. 2004. Composition en acides gras du lait de chèvre : influence du pourcentage de concentré combinée à la supplémentation en graines de colza. 11<sup>ème</sup> Rencontres Recherches Ruminants, Paris. p.78.

### Introduction :

Dans un objectif d'amélioration des qualités nutritionnelles du lait, le profil en acides gras (AG) de la matière grasse (MG) laitière peut être modifié par des facteurs alimentaires, tels le niveau de concentré et/ou l'apport de suppléments lipidiques.

Chez les caprins, peu de données concernent les changements du profil en AG du lait en réponse à ces facteurs alimentaires et leur interaction. Notre objectif est d'étudier, l'influence du pourcentage de concentré de la ration combiné à la supplémentation en graines de colza sur la production et la composition en AG du lait de chèvre.

### Matériel et Methodes :

Trente-deux chèvres multipares en milieu de lactation ( $64j \pm 7$ ) sont allotées en 4 groupes selon un dispositif factoriel: ration à bas (B, 45%MS) ou haut (H, 65%MS) pourcentage de concentré croisé avec le type de concentré sans (T) ou avec 20% MS de graines de colza laminées (C). Les rations sont iso-PDI et iso-UFL. Elles sont distribuées ad libitum 2 fois par jour, sous forme de ration complète, avec de la luzerne déshydratée et de la pulpe de betterave.

Après adaptation au régime (21j), l'ingestion, la production individuelle et la composition (taux butyreux et protéique) du lait sont mesurées durant 12 semaines. Le profil en AG de la MG du lait est déterminé par chromatographie en phase gazeuse sur des échantillons individuels prélevés sur 2 traites consécutives au début (j15) et à la fin (j55) de l'expérimentation.

### Resultats et Discussion :

Les facteurs expérimentaux n'ont pas d'effet sur l'ingestion de matière sèche ( $2,8 \pm 0,5$  kg/j) ou sur le taux protéique du lait (tableau 1). L'utilisation des rations H favorise la production laitière, tandis que celles à base de colza augmentent le taux butyreux du lait. L'interaction entre ces facteurs est significative sur la production de MG, puisque les chèvres alimentées avec la ration HC ont les plus fortes MG produites. Contrairement aux données sur vaches (Chilliard et al., 2003), l'apport de lipides alimentaires accroît la MG du lait chez la chèvre, et ce de façon d'autant plus importante que le pourcentage de concentré est élevé.

Les rations H augmentent légèrement les teneurs en AG courts (C4-C8) du lait et l'apport de colza diminue les moyens (C10-C14), sans interaction entre ces facteurs. L'apport de graines de colza provoque une diminution des teneurs de 16C et une augmentation des AG longs (>C17). Ces effets sont plus marqués quand le régime est riche en concentré, probablement en raison des changements plus importants des conditions de biohydrogenation ruminale. Le lait du groupe HC est le plus riche en CLA, en AG de configuration *trans* et en rapport N3/N6. Ces effets du régime sur le profil en AG du lait sont comparables à ceux observés lors de l'augmentation des teneurs de concentré (LeDoux et al., 2002) ou de l'apport d'huile de colza dans la ration de chèvres (Mir et al., 1999).

### Conclusion :

La combinaison pourcentage élevée de concentré dans la ration et apport de graine de colza a permis une modification très importante du profil en AG du lait de chèvre en milieu de lactation, en plus d'augmenter la production de lait et de MG. Certaines des modifications de profil en AG, comme l'augmentation des teneurs de CLA et du rapport N3/N6 du lait, peuvent avoir des effets bénéfiques pour la santé humaine.

Chilliard et al., 2003. J. Dairy Sci., 86, 1751-1770

LeDoux et al., 2002. J. Dairy Sci., 85, 191-197

Mir et al., 1999. Small Ruminant Res., 33, 137-143

**Tableau 1** : Production et composition du lait de chèvres (n=32) alimentées avec des rations à différents pourcentages de concentré combinées à la supplémentation lipidique (témoin vs colza).

Variables	Bas concentré (45%)		Haut concentré (65%)		ET	P		
	Témoin	Colza	Témoin	Colza		Concentré	Colza	Concentré* Colza
Lait, g/j	3,29 a	3,22 a	3,70 a	4,06 b	0,10	0,012	ns	ns
Taux butyreux, %	3,66 a	3,63 a	3,77 a	4,10 b	0,70	ns	0,001	ns
Matière grasse, g/j	125 a	119 a	133 a	161 b	43	0,002	0,001	0,003
Taux protéique, %	3,22	3,12	3,17	3,11	0,27	ns	ns	ns
Matière azotée, g/j	109 a	102 a	122 b	121 b	28	0,019	ns	ns
	(% acides gras totaux )							
AG courts (C6-C8)	4,59	4,59	4,92	5,08	0,66	0,015	ns	ns
AG moyens (C10-C14)	30,53 a	25,29 b	30,19 a	24,16 b	3,81	ns	0,000	ns
AG 16C (C16:0+C16:1)	33,69 a	27,35 b	35,25 a	22,75 c	5,69	ns	0,000	0,000
AG longs (≥C17)	28,56 a	39,61 b	27,24 a	43,78 c	8,18	ns	0,000	0,011
CLA (c9t11-C18:2)	0,32 a	0,37 a	0,30 a	1,22 b	0,44	0,001	0,001	0,001
AG <i>trans</i> (t9,10,11- C18:1)	1,02 a	1,54 a	1,08 a	4,86 b	1,77	0,000	0,000	0,000
N3/N6	0,24 a	0,26 a	0,14 b	0,29 c	0,06	0,000	0,000	0,000

a, b, c : moyennes significativement différentes, p<0.05

## Annexe 2 :

Andrade, P.V.D. e Schmidely Ph. 2005. Influence du pourcentage de concentré combiné à la nature de la supplémentation lipidique (colza vs soja) sur la production et la composition en acides gras du lait de chèvre. *12ème Rencontres Recherches Ruminants*, Paris. p. 409.

### Introduction :

L'addition de graines d'oléagineux modifie la composition de la matière grasse (MG) du lait en augmentent les acides gras (AG) de chaîne longue, dont certains sont réputés bénéfiques pour la santé humaine. Chez la chèvre, les effets sur le profil en AG sont différents selon le type de MG utilisé (Chilliard et Ferlay, 2004), toutefois, il y a peu d'études avec des comparaisons directes entre l'effet de graines de colza (riche en c9-C18:1) et de soja (riche en c9c12-C18:2). Cet effet peut par ailleurs être modulé par le pourcentage de concentré de la ration (Chilliard et Ferlay, 2004). Ainsi, l'objectif de cette essai était d'étudier, chez des chèvres laitières, l'influence du pourcentage de concentré (bas vs haut) combiné à la supplémentation lipidique (soja vs colza) sur les performances zootechniques et la composition en AG du lait.

### Materiel et Methodes :

Vingt-quatre chèvres laitières ( $45 \pm 6$  j de lactation) sont allotées en 4 groupes selon un dispositif factoriel: ration à bas (**B**, 45% MS de la ration) ou haut (**H**, 65% MS) pourcentage de concentré en combinaison avec la nature de l'apport lipidique : graines de soja extrudées (**S**, 27% de la MS du concentré) ou graines de colza laminées (**C**, 20% de la MS du concentré). Les rations avec les mêmes pourcentages de concentré sont iso-PDI et iso-UFL, mais la ration **H-C** a plus d'AG totaux (4,5% dans la MS) que la **H-S** (3,3%). Après adaptation au régime (21j), l'ingestion, la production individuelle et la composition (MG et protéine) du lait sont évaluées pendant 5 semaines. Le profil en AG est déterminé par chromatographie en phase gazeuse sur des échantillons prélevés au milieu de l'expérimentation.

### Résultats et Discussion :

L'ingestion de MS ( $2,8 \pm 0,5$  kg/j), la production laitière ( $3,8 \pm 0,1$  kg) et les teneurs en MG ( $37,6 \pm 5,3$  g/kg) et en protéine ( $33,0 \pm 2,3$  g/kg) ne sont pas différents ( $P > 0,05$ ) entre les groupes.

Les teneurs en AG courts ( $\Sigma C4:0-C8:0 = 6,65 \pm 1,14\%$  AG totaux), moyens ((C10:0-C14:0 = 28,65 (3,34%) et le C16:0 ( $27,49 \pm 2,49\%$ ) ne sont pas influencées ( $P > 0,05$ ) par les traitements, à l'exception d'une légère augmentation ( $P < 0,08$ ) de la teneur en C16:0 (+2,4%) dans les groupes S par rapport au C. Les AG courts sont normalement peu modifiés par l'alimentation, tandis que les AG

moyens sont diminués par l'apport de MG, avec peu de différences selon le type de MG (Chilliard et Ferlay, 2004).

Les rations H augmentent les teneurs des AG *trans* (tableau 1), surtout du t11-C18:1 (+0,47%) et de c9t11-C18:2 par rapport aux rations B. Le t10-C18:1 est plus élevée chez les chèvres recevant les rations H que les B, mais ses teneurs sont faibles. Les rations C augmentent aussi les teneurs des AG *trans*, toutefois le c9t11-C18:2 n'est pas affecté par la nature de la MG. L'interaction entre le pourcentage de concentré et la nature de MG est significative : le lait du groupe H-C est le plus riche en c9t11-C18:2 et aussi en t11-C18:1. Contrairement, chez les vaches l'utilisation des rations avec de l'huile de soja semble augmenter le t11-C18:1 et le c9t11-C18:1 dans le lait en comparaison avec le colza (Loor et al., 2003). La différence d'apport d'AG totaux entre les régimes H-C et H-S peut avoir masqué des potentielles différences entre S et C, cependant, une différence entre vaches et chèvres du métabolisme des AG n'est pas à exclure. Le lait du groupe S est plus riche en c9c12-C18:2 que celui du C, ce qui reflète la composition en AG des graines utilisées.

### Conclusion :

Le lait de chèvres alimentées avec des graines de soja ou de colza présent des profils d'AG *trans* différents, surtout quand les rations sont riches en concentré. L'utilisation d'une ration avec 65% de concentré et supplémentée en graines de du colza a provoqué la plus forte augmentation des teneurs en c9t11-C18:2 et des isomères *trans*-C18:1 identifiés dans la MG du lait.

Chilliard et Ferlay, 2004. *Reprod. Nutr. Dev.* 44, 467-492

Loor et Herbein, 2003. *Anim. Feed Sci Technol.* 103, 63-68

**Tableau 1** : Profil des acides gras avec 18 C du lait de chèvres ( $n=24$ ) alimentées avec des rations à bas ou haut pourcentages de concentré combinées à la supplémentation en graines de soja ou de colza.

Acides gras (% AGT)	Bas concentré (45%)		Haut concentré (65%)		ET	Concentré	P	
	Soja	Colza	Soja	Colza			MG	Concentré*
C18:0	7,89	10,29	8,50	10,92	1,85	NS	0,01	NS
c6+9+11-C18:1	18,07	17,36	16,22	19,78	1,60	NS	NS	0,10
t6+7+8-C18:1	0,11	0,18	0,14	0,33	0,07	0,05	0,01	0,10
t9-C18:1	0,15	0,19	0,19	0,34	0,05	0,01	0,01	0,05
t10-C18:1	0,19	0,22	0,23	0,41	0,07	0,01	0,05	0,10
t11-C18:1	0,70	0,66	0,85	1,35	0,31	0,05	NS	NS
t12-C18:1	0,18	0,25	0,28	0,41	0,08	0,01	0,05	NS
c9t11-C18:2	0,27	0,18	0,32	0,43	0,13	0,05	NS	NS
c9c12-C18:2	2,76	1,95	3,20	1,97	0,33	NS	0,01	NS
c9c12c15-C18:3	0,53	0,47	0,40	0,37	0,11	0,05	NS	NS

NS =  $P > 0,10$

## Original article

## Effect of duodenal infusion of *trans*10,*cis*12-CLA on milk performance and milk fatty acid profile in dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with rolled canola seed

Patricia Vilhena Dias de ANDRADE, Philippe SCHMIDELY\*

Unité Mixte de Recherches "Physiologie de la Nutrition et Alimentation", Département des Sciences Animales, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 75231 Paris Cedex 05, France

(Received 30 March 2005; accepted 12 July 2005)

**Abstract** – The effect of t10,c12-C18:2 on milk production, and fatty acid (FA) profile of milk fat was studied in 8 goats infused duodenally with t10,c12-C18:2 (2 g·10 h<sup>-1</sup>) during 3 days, followed by a 2-day infusion of skim milk (SM). The goats were assigned to 4 diets in a factorial arrangement constituted by low (L = 45%) or high (H = 65% of the diet DM) percentage of concentrate without (CS0) or with (CS20) rolled canola seed (20% of the concentrate DM). Milk samples were collected before (basal), and during the t10,c12-C18:2 and SM infusions. The t10,c12-C18:2 in milk fat increased from undetectable basal values to an average of 0.39% of total FA in the 3rd day of t10,c12-C18:2 infusion. DMI, milk yield, and the contents and yield of milk fat, protein, and lactose were similar between basal and the t10,c12-C18:2 infusion. The concentration of saturated FA with 4 to 16C did not change during the t10,c12-C18:2 infusion, whereas C18:0 increased, particularly in the milk fat of the CS20 group. The t10,c12-C18:2 infusion increased the t10- and t11-C18:1 (except a reduction in t11-C18:1 for the H-CS20 group), and it decreased the c9,t11-C18:2 in milk fat, particularly for the H-CS20 group. The t10,c12-C18:2 infusion reduced the c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratio, particularly for the CS0 group. The results indicate that mammary lipogenesis in dairy goats was not decreased by t10,c12-C18:2, however, the desaturation of long chain FA appeared to be equally affected as in dairy cows. This reduction in the desaturase index of milk fat could have been a direct effect of t10,c12-C18:2, or mediated via an increase in t10-C18:1.

**milk fatty acids / t10,c12-C18:2 infusion / canola seed / goat**

### 1. INTRODUCTION

Conjugated linoleic acids (CLA) refer to a group of geometrical and positional isomers of linoleic acid (c9,c12-C18:2) with conjugated double bonds. Even though the *cis*9,*trans*11-CLA (c9,t11-C18:2) is the most abundant isomer in dairy products [1], recent

research has been focused on *trans*10,*cis*12-CLA (t10,c12-C18:2), because it decreases milk fat content (MFC) in dairy cows [2]. The c9,t11-C18:2 isomer in milk originates partly from the ruminal biohydrogenation of linoleic acid, and mostly from the desaturation of the t11-C18:1 fatty acid (FA) via  $\Delta^9$  desaturase in the mammary gland [3].

\* Corresponding author: schmidel@inapg.inra.fr





Livestock Science xx (2006) xxx–xxx

---

**LIVESTOCK  
SCIENCE**


---

www.elsevier.com/locate/livsci

## Influence of percentage of concentrate in combination with rolled canola seeds on performance, rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy goats

P.V.D. Andrade, Ph. Schmidely \*

*Unité Mixte de Recherches "Physiologie de la Nutrition et Alimentation", Département des Sciences Animales,  
Institut National Agronomique Paris-Grignon, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France*

Received 15 November 2005; received in revised form 20 February 2006; accepted 13 March 2006

### Abstract

The effect of rolled canola seeds (RCS, 0% or 20% of the dry matter (DM) of the concentrate) combined with percentage of concentrate (45% (L) vs. 65% (H) of the diet DM) on rumen fermentation characteristics, production parameters and fatty acid (FA) profile of milk fat was studied in 20 entire goats and 12 goats fitted with ruminal and duodenal cannula. Goats were fed TMR ad libitum for 15 weeks with the final 12 weeks as the test period. Individual milk samples were taken in weeks 5 and 11 to determine the FA profile of milk fat. Feeding the H diets increased  $NE_L$  intake, raw milk yield and yield of fat, protein and lactose. Feeding RCS increased fat corrected milk, milk fat content and fat yield. Combination of RCS and high percentage of concentrate increased fat corrected milk and fat yield. Milk protein content was not affected by dietary factors. Feeding the H diets increased the proportion of short-chain FA (C4:0–C8:0), each isomer of *trans*-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk at the expense of medium-chain FA with 11 to 17 C units. Feeding RCS decreased the proportion of medium-chain FA with 10 to 17 C units in milk and it increased that of C18:0, all isomers of *trans*-C18:1, c9-C18:1 and c9,t11-C18:2. Goats fed the H diets, and those fed the RCS had lower c9-C18:1/C18:0 and c9,t11-C18:2/t11-C18:1 ratios. Combination of RCS and high percentage of concentrate produced the highest proportion of all isomers of *trans*-C18:1 and c9,t11-C18:2 in milk, with the highest variability among the four diets for these FA. This was possibly related to between-goats differences in ruminal fermentation and to individual difference in desaturase activity in the mammary gland. It is concluded that feeding a high-concentrate diet combined with rolled canola seeds had a synergistic effect on the milk production and fat yield without alteration in milk protein content in dairy goats. This combination also resulted in changes in FA profile that may differently affect the nutritional value of goat milk for human health.

© 2006 Published by Elsevier B.V.

**Keywords:** Conjugated linoleic acid; Milk fat; Canola seeds; Percentage of concentrate; Goat

\* Corresponding author. Tel.: +33 1 44 08 18 80; fax: +33 1 44 08 18 53.

E-mail address: schmidel@inapg.inra.fr (P. Schmidely).

## Résumé

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier l'influence du pourcentage de concentré de la ration combiné à la supplémentation lipidique sur les flux duodénaux des parois et des lipides, sur les performances laitières et la composition en acides gras (AG) du lait de chèvre. Dans une deuxième phase, nous étudions les effets induits par l'infusion duodénale de t10,c12-CLA et son interaction avec les facteurs alimentaires décrits ci-dessus sur la production de la matière grasse (MG) du lait de chèvre et son profil en AG.

Dans l'étude bibliographique, nous avons quantifié l'influence de l'apport de lipides issus d'oléo-protéagineux, selon la présentation des lipides (graines vs. huiles) et l'origine botanique sur les performances laitières et de la composition du lait. Pour cela, nous avons constitué une base de données compilant les informations issues des recherches conduites uniquement sur des vaches laitières, en raison du faible nombre d'études sur des chèvres. La réponse de la production laitière à l'incorporation de lipides est variable selon le stade de lactation. L'incorporation d'oléo-protéagineux réduit le taux butyreux (TB) du lait, principalement lorsque l'apport se fait sous forme d'huile ; parallèlement on observe une augmentation des proportions des AG *trans*-C18:1 dans le lait. L'origine botanique de l'oléo-protéagineux a moins d'impact sur les performances laitières que sur le profil en AG longs.

La partie expérimentale est constituée de deux expérimentations conduites sur des chèvres laitières en milieu de lactation, en vue de relier la composition des flux duodénaux de lipides et le profil en AG du lait. Le dispositif expérimental factoriel 2 x 2 a combiné la proportion de concentré (bas: 45% vs. haut: 65% de la matière sèche de la ration) et l'apport lipidique (Expérimentation 1: témoin sans lipides vs. graines de colza laminées) ou la nature des lipides (Expérimentation 2: graines de colza laminées vs. graines de soja extrudées). Contrairement aux résultats obtenus sur des vaches laitières, les rations riches en concentré, l'apport de lipides, ou la combinaison de l'apport de lipides au sein des rations riches en concentré ne diminuent pas le TB du lait. En revanche, les pourcentages de *trans*-C18:1 (surtout de t11) et de c9,t11-CLA dans le duodénum et dans le lait sont augmentés par ces facteurs et leur interaction. La nature de la supplémentation lipidique n'a que peu d'impact sur les performances laitières. Les graines de colza augmentent les teneurs des AG *trans* dans le lait par rapport au soja; toutefois il est difficile de séparer les effets de l'origine des graines de l'effet de la quantité d'AG ingérés. Les flux duodénaux et fécaux des parois sont diminués par les rations riches en concentré, mais non modifiés par l'apport lipidique, probablement parce que les quantités d'AG ingérés n'ont pas été assez élevées et/ou les graines n'ont pas permis une libération des AG assez rapide pour avoir un effet défavorable sur les microbes cellulolytiques du rumen.

Les raisons de la différence de réponse entre chèvres et vaches à l'apport lipidique ne sont pas complètement élucidées, mais la différence de sensibilité de la synthèse mammaire de MG à certains AG *trans* semble être une de ces raisons. Indépendamment du régime, l'infusion duodénale de t10,c12-CLA, un très puissant inhibiteur des enzymes responsables de la synthèse *de novo* dans la glande mammaire bovine, ne provoque pas des réductions du TB dans le lait de chèvre, malgré un important transfert vers le lait. Par contre, dans les deux espèces, cet AG diminue la capacité de désaturation dans la glande mammaire.

Chez les chèvres, l'utilisation de rations riches en concentré et supplémentées en lipides a augmenté la production de lait, de MG, de t11-C18:1 et de c9,t11-CLA. Par ailleurs, le profil en AG du lait de chèvre peut être modulé par l'origine botanique de l'oléo-protéagineux ajouté à la ration.

*Mots-clés* : chèvre, acides gras du lait, lipide alimentaire, pourcentage de concentré, flux duodénaux d'acides gras, infusion de t10,c12-CLA, graines de soja, graines de colza.

## **Influence of percentage of concentrate and dietary fat supplementation on duodenal flow of fat and on milk fat composition in response to t10,c12-CLA infusion in dairy goats**

### **Abstract**

The main objective of this work was to study the influence of the percentage of concentrate combined with dietary fat supplementation on the duodenal flow of fiber and fat, dairy performance, and milk fatty acid (FA) profile of dairy goats. We have also studied the effects of the duodenal infusion of t10,c12-CLA and the interaction with the dietary factors described above on fat yield and FA profile of goat milk.

In the bibliography, we quantified the influence of oilseed supplementation, according to the type (seeds vs. oil) and the source of the oilseed on dairy performance and on milk composition. We created a data base that pooled information from published articles on dairy cows only, because studies on dairy goats were limited. The changes in milk yield caused by dietary fat were dependent on stage of lactation. The fat addition depressed the milk fat content (MFC), mainly when fed as oil; we also observed an increase in the proportion of *trans*-C18:1 in the milk fat. The source of dietary fat had less influence on dairy performance than on the profile of long-chain FA.

In the experimental study, two trials on mid-lactation dairy goats were undertaken, to link changes in duodenal profile of FA to those in milk. The experimental design was factorial and it combined the percentage of concentrate (low: 45% vs. high: 65% of diet dry matter) and fat addition (Trial 1: control without added fat vs. rolled canola seeds) or fat source (Trial 2: rolled canola seeds vs. extruded soybeans). Contrary to results with dairy cows, MFC was depressed neither by high-concentrate diets nor by fat supplementation, nor by their interaction. However, the percentages of *trans*-C18:1 (especially of t11) and of c9,t11-CLA in duodenal content and in milk were increased by these factors and their interaction. The source of dietary fat did not affect dairy performance. Percentages of total *trans* FA were higher in milk from goats fed canola seeds than soybeans, but it is difficult to separate the effects of fat source from those of total FA intake. The duodenal and the fecal flow of fibers were decreased by high-concentrate diets, but not by supplemental fat, probably because fat content of experimental diets was not higher enough and/or FA release from seeds was not fast enough to have a deleterious effect on ruminal cellulolytic microbes.

The reasons for the difference in the response of goats and cows to fat supplementation are not completely understood, but difference in the response of milk fat synthesis to *trans* FA could be a part of the explanation. The t10,c12-CLA strongly inhibits the *de novo* synthesis of FA in the bovine mammary gland, but the duodenal infusion of this FA did not depress MFC in goat milk independently of the diet, despite its transfer in milk. However, this FA reduced the capacity of desaturation in the mammary gland in both species.

In dairy goat, high-concentrate diets, especially when supplemented in lipids, increased the yield of milk, milk fat, t11-C18:1 and of c9,t11-CLA. Besides, milk FA profile can be modulated by the type of oilseed added to the diet.

**Keywords:** goat, milk fatty acids, dietary fat, percentage of concentrate, duodenal flow of fatty acids, infusion of t10,c12-CLA, soybeans, canola seeds.