SCIENCES DES ALIMENTS, 19(1999) 97-110

Composition en acides gras et en glycérides de la matière grasse du lait de vache en zones de montagne et de plaine

Marius COLLOMB [1], Ueli BÜTIKOFER [1], Monika SPAHNI [1], Bernard JEANGROS [2], Jacques O. BOSSET [1]*

SUMMARY **Fatty acid and glyceride composition of cow's milk fat in high- and lowland regions.**

The influence of the botanical composition of pastures on milk fat composition was studied in the lowlands (alt. 600-650 m), in the mountains (900-1,200 m) and in two regions of the lower Alps (1,400-1,920 m, 1,275-2,120 m). Generally, besides graminae present at all altitudes, the highland pastures are richer in non-leguminous herbaceous dicotyledons whereas the lowlands produces more leguminous plants. The fatty acid and glyceride composition of 49 cream samples from these four regions was determined by gas chromatography. Pasture botanical composition had a marked influence on milk fat composition. The levels of saturated short chain (C4-C16) fatty acids were lower, and those of unsaturated long chain (especially C18:1, C18:2 and C18:3) fatty acids higher in the three highland zones. The levels of linoleic acid were significantly different in the four zones considered, increasing with the altitude. The levels of short (C28-C36) and medium chain glycerides (C42-C46) were also lower, and those of long chain glycerides (C50-C54) higher in the three highland zones than in the lowland zones. These significant differences in milk fat composition are probably due to the intake of higher quantities of non-leguminous herbaceous dicotyledons. Fatty acids and glycerides might therefore be valuable components for identifying Protected Designated Origin (PDO) "highland" cream and cheese.

Key-words: *botanical composition, high- and lowland pasture, milk fat, fatty acid, triglyceride.*

RÉSUMÉ

L'influence de la composition botanique des herbages sur celle de la graisse de lait de vache a été étudiée dans quatre lieux d'observation situés en zones : i) subalpines (1 300-1 920 m et 1 275-2 120 m) ; ii) montagnarde (900-1 210 m) et iii) collinéenne (600-650 m). Outre l'omniprésence des graminées, on observe la dominance des dicotylédones herbacées non légumineuses en haute altitude et

1. Station fédérale de recherches laitières (FAM), Liebefeld, 3003 Berne, Suisse.
2. Station fédérale de recherches en production végétale (RAC), Changins, 1260 Nyon, Suisse.

* Correspondance. E-mail : jacques-olivier.bosset @ fam.admin.ch

celle des légumineuses en basse altitude. On a déterminé par chromatographie en phase gazeuse la composition en acides gras et en glycérides de 49 échantillons de crème provenant de ces quatre zones. On observe une forte influence de la composition botanique des herbages sur la composition chimique de la graisse de lait. Les teneurs en acides gras saturés pairs à courtes et moyennes chaînes (C4-C16) sont inférieures et celles en acides gras insaturés à longues chaînes, notamment en C18:1, C18:2 et C18:3, plus élevées en montagne qu'en plaine. Les teneurs en acides linoléiques peuvent même être différenciées entre les quatre zones, puisqu'elles augmentent avec l'altitude. Les teneurs en glycérides à courtes (C28 à C36) et moyennes chaînes (C42 à C46) sont plus basses et celles en glycérides à longues chaînes (C50 à C54), plus élevées dans les étages subalpins et montagnard que collinéen. Ces différences de composition de la matière grasse laitière pourraient s'expliquer par une proportion plus importante en dicotylédones herbacées non légumineuses (composées, rosacées, plantaginacées, etc.) dans les zones d'altitude élevée, généralement non différenciables entre elles. Ces acides gras et ces glycérides pourraient donc être d'intéressants traceurs potentiels d'origine de crèmes et de fromages AOC/AOP « de montagne ».

Mots clés : *composition botanique, herbage, altitude, matière grasse du lait, acide gras, triglycéride.*

1 - INTRODUCTION

L'influence de l'affouragement sur la composition de la matière grasse est un thème très actuel en raison des propriétés nutritionnelles et rhéologiques recherchées des produits laitiers, telles qu'une augmentation de leur teneur en acides gras mono- ou polyinsaturés et une diminution de celle en acides gras saturés (GRUMMER, 1991). Cette influence dépend des voies de synthèse des acides gras du lait et de facteurs biologiques (GRUMMER, 1991 ; JENKINS, 1993 ; GERSON *et al.*, 1968 ; JONES, 1969). Les acides gras du lait à nombre pair d'atomes de carbone, à courtes et moyennes chaînes (C4-C14), ont pour précurseurs l'acétate et le 3-hydroxybutyrate issus de la digestion microbienne des glucides dans le rumen (GRUMMER, 1991 ; CHILLIARD, 1993 ; JENKINS, 1993). L'acide palmitique (C16) est pour moitié synthétisé selon ce mécanisme. L'autre moitié a pour source les lipides sanguins, comme d'ailleurs pratiquement tous les acides gras à longues chaînes.

Les lipides sanguins peuvent provenir de l'absorption et de la digestion de la matière grasse du régime ou de la mobilisation des acides gras des tissus adipeux (GRUMMER, 1991 ; CHILLIARD, 1993 ; BAUCHARD, 1993). Après lipolyse, une portion significative des acides gras libérés est captée par la glande mammaire dans laquelle ils sont réestérifiés. On estime qu'environ 50 % de la graisse de lait est produite par les lipides du plasma sanguin dont 88 % des acides gras sont d'origine diététique. Quant aux acides polyinsaturés du lait, ils ne peuvent être synthétisés par voie microbienne et proviennent en quasi totalité d'acides préformés (JENKINS, 1993).

Outre la composition des fourrages, divers facteurs biologiques peuvent aussi fortement influencer le spectre de répartition des acides gras de la matière

grasse du lait. Les acides gras insaturés subissent une biohydrogénation microbienne extensive dans le rumen, ce qui a pour effet une augmentation des teneurs en acides à longues chaînes plus saturées dans la matière grasse du lait (WU *et al.*, 1991 ; JENKINS, 1993 ; KENNELLY, 1996). Cette biohydrogénation des acides polyinsaturés peut être ralentie en additionnant au fourrage des graisses ou des acides gras insaturés sous une forme encapsulée, ce qui diminue la formation d'acides gras trans-C18:1. Inversement, les acides gras saturés à longues chaînes, surtout l'acide stéarique (C18:0), peuvent être partiellement désaturés par la désaturase de l'intestin et de la glande mammaire, ce qui accroît la teneur en acide oléique (C18:1) et préserve la fluidité du lait.

De nombreux auteurs ont étudié les fluctuations des teneurs en acides gras et en glycérides de la graisse de lait. Durant la période estivale ou lors de l'addition de graisses végétales au fourrage, on constate généralement une augmentation des teneurs en acides gras à longues chaînes (surtout en C18, C18:1, C18:2) et une diminution correspondante de ceux à courtes et moyennes chaînes (C6-C16) (KENNELLY, 1996 ; MUUSE *et al.*, 1986 ; PRECHT *et al.*, 1985 ; RENNER et KOSMACK, 1974). Quant aux teneurs en glycérides, on remarque essentiellement une augmentation de ceux à nombre de carbones élevée C50-C54 ou C48-C54 lors du passage du foin à l'herbe (PRECHT *et al.*, 1985) ou lors de l'addition de graisses végétales (KENNELLY, 1996 ; CULLIANE *et al.*, 1984).

En outre, le stade de lactation, via la mobilisation corporelle, peut induire des modifications de la composition de la matière grasse du lait, généralement bien documentées (RENNER et KOMACK, 1974 ; ZEGARSKA et JAWORSKI, 1981). Quant à la biohydrogénation et à la désaturase qui peuvent fortement modifier l'influence du fourrage, elles provoquent en général surtout une augmentation des teneurs en acide oléique. En revanche, on ne dispose pas de références bibliographiques sur la composition en acides gras des herbages croissant à diverses altitudes, ni sur leur influence sur la composition chimique de la matière grasse du lait. Seule a été abondamment étudiée jusqu'ici la composition des oléagineux intéressants d'un point de vue nutritionnel.

Le but du présent travail consiste donc à combler cette lacune dans le cadre plus général d'une vaste étude pluridisciplinaire que les Stations fédérales de recherches laitières de Liebefeld (FAM) et en production végétale de Changins (RAC) ont mis sur pied pour étudier les relations existant entre les caractéristiques des herbages et celles des fromages à pâte dure de type Gruyère et L'Etivaz (JEANGROS *et al.*, 1997 ; JEANGROS *et al.*, 1998 ; BOSSET *et al.*, 1997). L'une des hypothèses à vérifier est de déterminer *in natura* s'il existe ou non une relation entre la composition botanique des fourrages ou des herbages et celle en acides gras et en triglycérides de la matière grasse laitière. Une telle étude se justifie : i) par l'impact socio-économique de vastes zones pâturées dans l'arc alpin, notamment dans une optique AOC/AOP (BOSSET *et al.*, 1994 ; MARIACA *et al.*, 1997 ; BOSSET *et al.*, 1998) ; ii) par l'intérêt croissant des nutritionnistes pour les acides gras polyinsaturés et iii) par celui des technologues pour les caractéristiques rhéologiques des corps gras. *In natura* indique que la présente étude a été menée dans les conditions usuelles de pâture et de conduite des troupeaux, et non dans des conditions expérimentales définies et contrôlées. Les conclusions que l'on peut en tirer doivent donc tenir compte de ce contexte et rester nuancées dans l'attente d'une prochaine vérification dans un cadre beaucoup plus rigoureux du point de vue expérimental.

2 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Objectif et démarche

Le cadre général, les objectifs, le contexte géographique et climatologique de cette étude ainsi que le déroulement des essais ont déjà été décrits de façon détaillée (JEANGROS *et al.*, 1997). À titre de rappel, il s'agissait de quatre sites de production : deux en zones subalpines dans les Préalpes vaudoises (L'Etivaz 1 et 2), un en zone montagnarde (Montbovon/Les Allières) et un en zone collinéene (Posieux/Grangeneuve). Les vaches se situaient au milieu du stade de lactation et étaient dans un excellent état sanitaire.

Sur les trois premiers sites, les observations se sont généralement déroulées de la manière suivante : une surface aussi homogène que possible, avec suffisamment d'herbe pour nourrir le troupeau pendant au moins trois jours, a tout d'abord été clôturée. Avant le passage des animaux, la composition botanique de cette surface a été déterminée et des échantillons d'herbe ont été prélevés. Après que les vaches eurent pâturé pendant 2 à 3 jours sur cette surface, un échantillon représentatif du lait mélange de la traite du soir a été prélevé. Les pâturages naturels correspondants n'ont reçu aucun autre engrais que le fumier et le lisier du troupeau *in situ*.

À l'étage collinéen, l'affouragement s'est fait en bonne partie à la crèche, sous forme d'herbe (jusqu'à mi-août) ou de maïs plante entière (depuis la mi-août, mi-essai). Les herbages affouragés à la crèche étaient généralement des mélanges à base de graminées et de trèfle blanc ou de trèfle violet « longue durée » et de graminées. Les vaches, qui produisaient plus de 28 kg de lait par jour (moins du tiers), ont reçu en complément un mélange de céréales (moins de 2 kg par jour).

Le *tableau 1* résume les principales caractéristiques du troupeau laitier et des modes d'affouragement.

2.2 Composition des fourrages

Le *tableau 2* résume la composition botanique des herbages des quatre sites d'observation.

On constate que la composition botanique est très semblable dans les deux zones subalpines : 38,6-40,8 % de graminées (*Agrostis capillaris* L., *Festuca rubra* aggr., etc.), 5,9-7,4 % de cypéracées et joncacées (par ex. *Carex sempervirens* Villars), 6,7-11,0 % de légumineuses (*Trifolium repens* L., etc.) et 42,9-43,3 % de dicotylédones non légumineuses (*Leontodon* sp., *Alchemilla vulgaris* aggr., etc.). La zone montagnarde se distingue des zones subalpines surtout par une proportion plus élevée en graminées : 63,4 % (par ex. *Agrostis capillaris* L., *Festuca rubra* aggr., *Poa trivialis* L.), plus basse en cypéracées et joncacées : 1,4 % et surtout en dicotylédones non légumineuses : 27,1 %. Quant à la zone de plaine, elle se distingue par des herbages composés uniquement de graminées : 52,5 % (par ex. *Lolium hybridum* Hausskn., *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L.) et de légumineuses : 47,5 % (par ex. *Trifolium*).

Tableau 1

Caractéristiques des troupeaux laitiers
et mode d'affouragement pour chaque lieu d'observation

Table 1

Characteristics of dairy herds and type of feedstuffs for each observation site

Lieu d'observation	Caractéristiques du troupeau laitier			Mode d'affouragement[1]	Système de traite
	Race	Nombre de vaches	Niveau de production (kg/vache/an)		
Étage subalpin 1	Tachetée rouge (Simmental × Red Holstein)	30 à 48[2]	4 500	Uniquement pâture	Machine à pots
Étage subalpin 2	Tachetée rouge (Simmental × Red Holstein)	27 à 40[2]	4 500	Uniquement pâture	Machine à pots
Étage montagnard	Tachetée rouge (Simmental × Red Holstein)	4 à 6 troupeaux de 10 à 30 vaches	4 500	Uniquement pâture	Machine à pots
Étage collinéen	Tachetée rouge (Red Holstein) et Holstein (noire)	45 à 50	7 500	Mixte (herbe à la crèche ou maïs plante entière, pâture, concentrés)	Traite directe

1. Pendant la période d'essai (de juin à mi-septembre).
2. Le nombre de vaches a varié pendant la période de pâture.

2.3 Prélèvement et traitement des échantillons

Après le prélèvement (JEANGROS *et al.*, 1997), les laits ont été centrifugés et les crèmes ainsi obtenues congelées. Avant l'analyse, ces dernières ont été décongelées dans un bain-marie à une température d'environ 40 °C puis barattées à une température d'environ 5 °C. Après filtrage du beurre ainsi obtenu sur filtre hydrophobe (Schleicher Schuell no 597 hy 1/2), la matière grasse pure a été recueillie.

2.4 Méthodes d'analyse

La détermination de la composition en acides gras des graisses a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse (CPG) selon un projet de norme FIL/IDF (ULBERTH, 1994). Les glycérides ont été transestérifiés en esters méthyliques d'acides gras après dissolution de la matière grasse du lait dans l'hexane et adjonction d'une solution d'hydroxyde de potassium en milieu méthanolique. Les résultats sont exprimés en % pondéral relatif de la somme des esters méthyliques.

Le dosage de la composition en triglycérides a été effectué par CPG selon COLLOMB *et al.* (1998). Il s'agit d'une adaptation de la norme DIN 10336 (ANONYME, 1994). On sépare des groupes de glycérides de même nombre de carbones acylés (les atomes de carbone du glycérol ne sont pas pris en compte dans les abréviations). Les résultats sont exprimés en pour cent pondéral relatif de la somme des glycérides.

Tableau 2

Recensement des herbages des quatre sites d'observation

Table 2

Inventory of the plants present on the four observation sites

Lieu d'observation Altitude	m	Subalpin 1 1 400-1 920	Subalpin 2 1 275-2 120	Montagnard 900-1 210	Collinéen 600-650
Nombre d'espèces	n[1]	48,6	56,0	53,5	6,0
Nombre de familles botaniques	n	17,2	19,4	18,0	2,0
Graminées	%	40,8	38,6	63,4	52,5
Cypéracées et Joncacées	%	7,4	5,9	1,4	0
Légumineuses	%	6,7	11,0	7,4	47,5
Dicotyl. herbacées non légumineuses	%	43,3	42,9	27,1	0
Composées	%	13,5	16,6	6,2	0
Renonculacées	%	6,3	2,8	6,2	0
Rosacées	%	6,7	5,4	2,4	0
Plantaginacées	%	4,5	5,9	2,4	0
Ombellifères	%	3,9	4,2	1,6	0
Autres familles	%	8,4	8,0	8,3	0
Autres familles	%	1,8	1,6	0,7	0
Espèces principales (par ordre d'abondance décroissant dans chaque site)		*Agrostis capillaris L.* *Festuca rubra aggr.* *Leontodon sp.* *Carex sempervirens Villars* *Alchemilla vulgaris aggr.* *Trifolium repens L.* *Nardus stricta L.* *Plantago alpina L.*	*Agrostis capillaris L.* *Festuca rubra aggr.* *Leontodon sp.* *Trifolium pratense L.* *Cynosurus cristatus L.* *Alchemilla vulgaris aggr.* *Trifolium repens L.* *Plantago alpina L.*	*Agrostis capillaris L.* *Festuca rubra aggr.* *Poa trivialis L.* *Festuca pratensis Hudson* *Trifolium repens L.* *Holcus lanatus L.* *Dactylis glomerata L.* *Lolium perenne L.*	*Trifolium repens L.* *Lolium hybridum Hausskn.* *Lolium perenne L.* *Trifolium pratense L.* *Dactylis glomerata L.* *Festuca pratensis Hudson* *Phleum pratense L.*

1. La composition botanique est donnée en moyenne de tous les relevés sur chaque site d'observation.

2.5 Évaluation statistique des résultats

L'évaluation statistique des résultats a été effectuée par analyse de type « box plots » sur les valeurs médianes des différents paramètres analysés (McGILL *et al.*, 1970).

3 - RÉSULTATS

3.1 Composition en acides gras

Le *tableau 3* présente la composition en acides gras de la graisse des laits provenant des quatre sites étudiés.

Tableau 3

Composition centésimale [a] en acides gras de la graisse des laits des quatre sites d'observation

Table 3

Percent fatty acid composition of the milk fat from the four observation sites

Acide		Étage subalpin 1		Étage subalpin 2		Étage montagnard		Étage collinéen	
n =		11		13		12		13	
		$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
butyrique	C4	$4,15^{A}$	0,25	$4,25^{A}$	0,18	$4,35^{AB}$	0,11	$4,52^{B}$	0,24
caproïque	C6	$2,21^{A}$	0,16	$2,28^{A}$	0,11	$2,27^{A}$	0,10	$2,62^{B}$	0,14
caprylique	C8	$1,19^{A}$	0,11	$1,22^{A}$	0,09	$1,20^{A}$	0,10	$1,44^{B}$	0,11
caprique	C10	$2,42^{A}$	0,30	$2,44^{A}$	0,24	$2,34^{A}$	0,23	$2,95^{B}$	0,30
caproléique	C10:1	$0,28^{A}$	0,04	$0,26^{A}$	0,05	$0,28^{A}$	0,04	$0,33^{AB}$	0,05
laurique	C12	$2,74^{A}$	0,32	$2,70^{A}$	0,24	$2,65^{A}$	0,24	$3,30^{B}$	0,40
Σ acides inconnus	S1*	$0,54^{C}$	0,05	$0,47^{AB}$	0,05	$0,50^{B}$	0,00	$0,45^{A}$	0,05
myristique	C14	$9,82^{A}$	0,70	$9,58^{A}$	0,49	$9,42^{A}$	0,44	$10,8^{B}$	0,70
myristoléique	C14:1	$1,22^{B}$	0,10	$1,07^{A}$	0,10	$1,18^{B}$	0,08	$1,24^{B}$	0,10
Σ acides inconnus	S2**	$0,85^{D}$	0,05	$0,75^{C}$	0,07	$0,70^{B}$	0,00	$0,55^{A}$	0,05
pentadécanoïque	C15	$1,41^{C}$	0,09	$1,29^{B}$	0,14	$1,26^{B}$	0,05	$1,16^{A}$	0,10
pentadécylénique	C15:1	$0,37^{C}$	0,05	$0,35^{C}$	0,05	$0,31^{B}$	0,03	$0,25^{A}$	0,05
palmitique	C16	$24,8^{A}$	1,26	$25,2^{A}$	1,08	$25,2^{A}$	0,62	$28,4^{B}$	1,25
palmitoléique	C16:1	$1,96^{A}$	0,14	$1,91^{A}$	0,10	$1,84^{A}$	0,10	$2,05^{B}$	0,11
Σ acides inconnus	S3***	$0,73^{B}$	0,05	$0,70^{B}$	0,04	$0,62^{A}$	0,04	$0,62^{A}$	0,06
heptadécanoïque	C17	$0,75^{B}$	0,07	$0,72^{B}$	0,07	$0,71^{B}$	0,03	$0,65^{A}$	0,07
heptadécylénique	C17:1	$0,45^{B}$	0,07	$0,40^{A}$	0,04	$0,42^{AB}$	0,04	$0,38^{A}$	0,07
stéarique	C18	$10,6^{A}$	0,90	$10,7^{AB}$	1,00	$12,1^{B}$	0,62	$11,1^{B}$	0,85
oléique	C18:1	$29,3^{B}$	1,79	$29,1^{B}$	1,30	$29,2^{B}$	1,05	$24,1^{A}$	1,72
linoléique	C18:2	$2,56^{C}$	0,22	$2,92^{D}$	0,24	$2,33^{B}$	0,10	$1,92^{A}$	0,23
linolénique	C18:3	$1,51^{B}$	0,19	$1,58^{B}$	0,25	$1,07^{A}$	0,07	$1,01^{A}$	0,23
arachidique	C20	$0,10^{A}$	0,00	$0,11^{A}$	0,03	$0,17^{B}$	0,05	$0,13^{A}$	0,05

a. Composition centésimale en acides gras sous la forme d'esters méthyliques.
n = nombre de crèmes analysées ; $\bar{x}$ = valeur moyenne ; s_x = écart-type.
A < B < C < D : compositions significativement différentes ; AB : A et B se chevauchent en analyse discriminante univariée.
* S1 = somme de divers acides non identifiés C12 et C13. ** S2 = C14:1 + C15r + C15:1 + C16 r (r = ramifié). *** S3 = somme d'acides gras non identifiés.

On constate que les acides gras saturés à nombre pair d'atomes de carbone compris entre C6 et C16 sont présents à des concentrations significativement plus élevées dans la matière grasse des laits de plaine que dans celle des laits des trois zones de plus haute altitude, où la teneur en ces acides ne présente en revanche pas de différences significatives. Quant aux teneurs en acide stéarique (C18:0) et arachidique (C20:0), elles sont maximales à l'étage montagnard (12,1 % et 0,17 % resp.).

Les acides gras mono-insaturés C10:1, C14:1 et C16:1 présentent la même tendance, mais fortement atténuée, puisque les différences entre les étages de montagne et de plaine sont faibles voire très faibles.

En revanche, les teneurs en acides gras mono- et polyinsaturés à longue chaîne (C18:1, C18:2, C18:3) sont significativement plus élevées dans les laits provenant des zones subalpines que dans ceux produits en plaine. Celle en *acide oléique* est nettement plus basse dans les laits produits en plaine (24,1 %) que dans ceux des trois autres zones, non différenciées entre elles (29,1-29,3 %). La teneur en *acide linoléique* augmente de manière significative avec l'altitude : 1,92 % en zone collinéenne < 2,33 % en zone montagnarde < 2, 56 % en zone subalpine 1 < 2,92 % en zone subalpine 2. Pour *l'acide linolénique*, on constate une teneur plus basse dans les laits provenant des étages de basse et moyenne altitudes (1,01-1,07 %) que dans ceux des deux étages subalpins (1,51-1,58 %).

Les sommes des acides gras « inconnus » S1 et surtout S2 sont significativement plus élevées dans les laits des zones subalpines et montagnarde que dans les laits de plaine. La somme S3 différencie, une fois encore, les sites de hautes et de basses altitudes.

Divers auteurs (RENNER et KOSMACK, 1974 ; CULLIANE *et al.*, 1984) classent les acides gras en chaînes courtes (par ex. C4-C8), moyennes (par ex. C10-C16) et longues (avec 18 atomes de carbone ou plus). Le *tableau 4* regroupe ces derniers selon les critères « saturé » et « insaturé ».

Dans les zones subalpines et montagnardes, les sommes des teneurs en acides gras à courtes (7,55-7,82 %) et moyennes chaînes (39,6-39,9 %) sont voisines, mais significativement plus basses qu'en plaine (8,59 et 45,4 % resp.). La somme des teneurs en acides gras en C18 (C18:0 + C18:1 + C18:2 + C18:3) est similaire pour les trois zones de plus haute altitude (44,0-44,6 %) et beaucoup plus élevée qu'en plaine (38,1 %) *(figure 1)*. Si l'on ne considère que les insaturés en C18, on observe une différence significative supplémentaire entre les deux étages subalpins (33,4-33,6 %) et l'étage montagnard (32,5 %) *(figure 2)*.

On remarque en outre des différences significatives selon l'altitude : la somme des acides gras insaturés est : i) maximale mais non différenciée aux 2 étages de végétation subalpins (37,6-37,7 %) ; ii) très légèrement inférieure à l'étage montagnard (36,6 %) et iii) minimale à l'étage collinéen (31,3 %). Par voie de conséquence, on observe une répartition inverse de la somme des acides gras saturés.

Quant au rapport C16:0/(C18:0 + C18:1 + C18:2 + C18:3), il est de 0,75 en zone de plaine, de 0,56 en zone montagnarde et de 0,57 dans les zones subalpines 1 et 2. Une valeur d'environ 0,70 à 0,90 peut être considérée comme normale pour des affouragements naturels en période estivale (KENNELLY, 1996). Le rapport C16:0/(C18:1 + C18:2 + C18:3) est de 1,06 dans les graisses de lait provenant de la plaine alors qu'il est compris entre 0,75 et 0,77 dans celles des trois autres zones, ce qui prouve une fois encore la forte influence de la composition de la végétation d'altitude sur celle de la matière grasse du lait.

Tableau 4

Composition centésimale en groupes d'acides gras de la graisse des laits des quatre sites d'observation

Table 4

Percent composition of pools of fatty acids of the milk fat from the four observation sites

Composants	Étage subalpin 1		Étage subalpin 2		Étage montagnard		Étage collinéen	
n =	11		13		12		13	
	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
Σ acides gras à courtes chaînes saturées (C4 + C6 + C8)	$7,55^A$	0,50	$7,75^A$	0,37	$7,82^A$	0,26	$8,59^B$	0,38
Σ acides gras à moyennes chaînes saturées (C10 + C12 + C14 + C16)	$39,8^A$	2,41	$39,9^A$	1,83	$39,6^A$	1,34	$45,4^B$	2,29
Σ acides gras en C18 (C18 + C18:1 + C18:2 + C18:3)	$44,0^B$	2,59	$44,3^B$	2,14	$44,6^B$	1,54	$38,1^A$	2,56
Σ acides gras insaturés à longues chaînes (C18:1 + C18:2 + C18:3)	$33,4^C$	1,92	$33,6^C$	1,39	$32,5^B$	1,10	$27,0^A$	2,02
Σ acides gras saturés[1]	$62,3^A$	1,95	$62,4^A$	1,27	$63,4^B$	1,06	$68,6^C$	1,96
Σ acides gras insaturés[2]	$37,7^C$	1,91	$37,6^C$	1,25	$36,6^B$	1,08	$31,3^A$	2,00
C16:0 / C18 (C18:0 + C18:1 + C18:2 + C18:3)	0,57	0,07	0,57	0,05	0,56	0,03	0,75	0,08
C16:0 / (C18:1 + C18:2 + C18:3)	0,75	0,08	0,75	0,06	0,77	0,04	1,06	0,12

Cf. tableau 2 et sa légende 2.
1. Σ acides gras saturés = C4 + C6 + C8 + C10 + C12 + S1 + C14 + S2 + C15 + C16 + S3 + C17 + C18 + C20.
2. Σ acides gras insaturés = C10:1 + C14:1 + C15:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1 + C18:2 + C18:3.

3.2 Composition en glycérides

La composition en glycérides de la graisse des laits des quatre mêmes sites d'observations est donnée dans le *tableau 5*.

Les résultats des analyses de glycérides, ceux en C24 et C38 exceptés, concordent avec ceux des analyses des acides gras à courtes, moyennes et longues chaînes. On remarque en effet que les teneurs en glycérides de la graisse de lait de C28 à C54 ne sont pas significativement différenciées entre les zones subalpines et montagnarde. Les glycérides de C28 à C36 et de C38 à C46 y sont présents en concentrations plus faibles, ceux de C50 à C54 en concentrations plus fortes qu'en plaine. Les teneurs en glycéride C38 augmentent même de façon significative depuis les deux zones subalpines, non différenciées (12,0-12,1 %), à la zone montagnarde (12,5 %) jusqu'à la zone de plaine (13,4 %). Les teneurs en C40 sont significativement plus basses dans les deux étages subalpins (9,84-10,0 %) qu'aux étages montagnard (10,3 %) et collinéen (10,4 %). Quant à la teneur en glycéride en C48, elle est en revanche la même (8,15-8,60 %) pour les quatre zones.

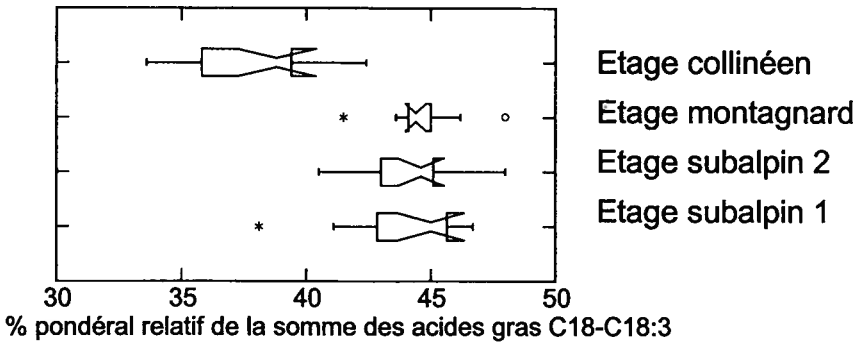


Figure 1

Comparaison de la somme des acides gras en C18 : stéarique (C18:0), oléique (C18:1), linoléique (C18:2) et linolénique (C18:3) dans les 4 sites d'observation

Comparison of the sum of C-18 fatty acids: stearic (C18:0), oleic (C18:1), linoleic (C18:2) and linolenic (C18:3) in the four experimental sites

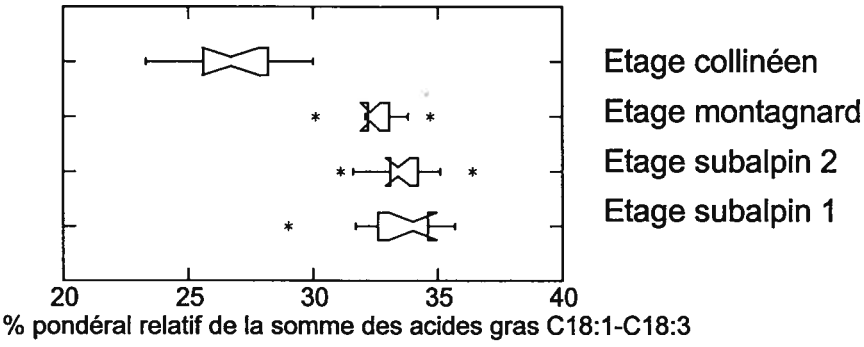
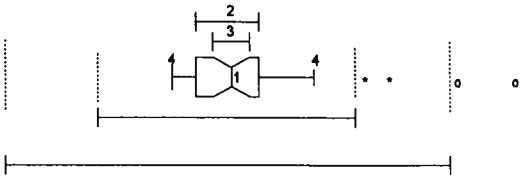


Figure 2

Comparaison des sommes des acides gras insaturés en C-18 : oléique (C18:1), linoléique (C18:2) et linolénique (C18:3) dans les 4 sites d'observation

Comparison of the sum of the insaturated C-18 fatty acids: oleic (C18:1), linoleic (C18:2) and linolenic (C18:3) in the four experimental sites



Légende :

1 Médiane
2 Interquartile
3 Domaine de confiance (95 %)
4 Valeurs extrêmes à l'intérieur des limites internes
* Valeur unique en dehors des limites internes
o Valeur unique en dehors des limites externes

Tableau 5

Composition centésimale [a] en glycérides
de la graisse des laits des quatre sites d'observation

Table 5

Percent glyceride composition of the milk fat from the four observation sites

Glycérides	Étage subalpin 1		Étage subalpin 2		Étage montagnard		Étage collinéen	
n =	11		13		12		13	
	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x	$\bar{x}$	s_x
C24	$0,11^{A}$	0,04	$0,15^{B}$	0,05	$0,10^{A}$	0,04	$0,11^{A}$	0,03
C26	$0,29^{A}$	0,09	$0,31^{AB}$	0,08	$0,31^{AB}$	0,06	$0,35^{B}$	0,05
C28	$0,59^{A}$	0,17	$0,62^{A}$	0,15	$0,65^{A}$	0,10	$0,76^{B}$	0,09
C30	$1,02^{A}$	0,21	$1,06^{A}$	0,18	$1,08^{A}$	0,13	$1,33^{B}$	0,12
C32	$2,15^{A}$	0,28	$2,17^{A}$	0,24	$2,20^{A}$	0,18	$2,73^{B}$	0,28
C34	$5,08^{A}$	0,42	$5,06^{A}$	0,37	$5,13^{A}$	0,30	$6,23^{B}$	0,49
C36	$9,74^{A}$	0,42	$9,70^{A}$	0,39	$9,89^{A}$	0,35	$11,6^{B}$	0,60
C38	$12,0^{A}$	0,32	$12,1^{AB}$	0,28	$12,5^{B}$	0,22	$13,4^{C}$	0,50
C40	$9,84^{A}$	0,39	$10,0^{A}$	0,33	$10,3^{AB}$	0,14	$10,4^{B}$	0,25
C42	$6,13^{A}$	0,36	$6,11^{A}$	0,25	$6,11^{A}$	0,27	$6,95^{B}$	0,40
C44	$5,48^{A}$	0,41	$5,33^{A}$	0,27	$5,29^{A}$	0,31	$6,25^{B}$	0,53
C46	$6,31^{A}$	041	$6,08^{A}$	0,30	$6,02^{A}$	0,29	$6,64^{B}$	0,49
C48	$8,60^{A}$	0,45	$8,30^{A}$	0,38	$8,23^{A}$	0,20	$8,15^{A}$	0,37
C50	$12,4^{B}$	0,80	$12,2^{B}$	0,65	$11,8^{B}$	0,37	$10,5^{A}$	0,57
C52	$12,6^{B}$	1,25	$12,8^{B}$	0,97	$12,6^{B}$	0,92	$9,6^{A}$	1,23
C54	$7,48^{B}$	0,93	$7,78^{B}$	0,84	$7,64^{B}$	0,73	$4,83^{A}$	0,87

a. Composition centésimale de la somme des glycérides à même nombre d'atomes de carbone acylés (ceux du glycérol ne sont pas pris en compte).
Cf. tableau 2 et sa légende.

4 - DISCUSSION

Bien que la composition du fourrage en plaine ait été modifiée, dès le milieu de l'essai, par addition de maïs plante entière, on peut tenter d'interpréter les différences de composition chimique de la matière grasse du lait en fonction de l'affouragement des vaches dans les quatre sites d'observation. Une analyse statistique des résultats ne montre en effet aucune différence significative de la composition en acides gras et en triglycérides de la graisse de lait entre les périodes se situant avant et après cette modification d'affouragement. Il est également reconnu qu'un déficit énergétique des vaches peut se traduire par une augmentation des teneurs en C18:0 et C18:1, mais reste sans grande influence sur celles en acides polyinsaturés à longues chaînes du lait. Un tel déficit est pourtant peu probable dans la présente étude en raison tant du faible rendement laitier dans les zones subalpines et montagnarde que de l'apport de concentrés en zone de plaine.

Le taux *d'acide oléique (C18:1)* est nettement plus élevé dans les laits des trois zones de plus haute altitude (29,1-29,3 %) que dans ceux de plaine (24,1 %). Ce composé ne s'explique donc pas par la présence de graminées, fréquentes en zone de plaine (52,5 %), très fréquentes en zone montagnarde (63,4 %) mais relativement moins denses dans les deux zones subalpines (environ 38,6-40,8 %), ni par la richesse en cypéracées et joncacées, rares en zone montagnarde (1,4 %), ni non plus par l'abondance des légumineuses (47,5 % en plaine contre environ 6,7-11 % dans les trois autres sites). Ce composé peut en revanche être corrélé avec les dicotylédones herbacées non légumineuses, très présentes dans les étages montagnards et subalpins (environ 27,1-43,3 %). Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par les fortes teneurs en acides polyinsaturés non synthétisés par voie microbienne (JENKINS, 1993).

L'augmentation significative de la teneur en *acide linoléique (C18:2)* dans le lait varie significativement en fonction de l'altitude : 1,9 % à l'étage collinéen contre 2,3 % à l'étage montagnard et 2,6 % à 2,9 % aux étages subalpins 1 et 2 respectivement. La teneur en cet acide pourrait par conséquent être corrélée avec la teneur croissante du fourrage de ces quatre sites en cypéracées et joncacées (soit : 0,0 %, 1,4 %, 7,4 % et 5,9 % resp.), quoique la différence d'abondance botanique de ces deux zones subalpines soit faible (5,9 et 7,4 %). On pourrait à nouveau associer cet acide de la matière grasse laitière, comme l'acide oléique, à la part des dicotylédones herbacées non légumineuses (en l'occurrence : 0,0 %, 27,1 %, 43,3 % et 42,9 % resp.).

Le taux *d'acide linolénique (C18:3),* également plus élevé dans les laits des deux étages subalpins (1,5-1,6 %) que dans ceux des deux zones de plus faibles altitudes (1,0-1,1 %), étaye les hypothèses formulées ci-dessus.

Comme pour les acides gras, les teneurs en *glycérides à longues chaînes* (C50-C54) sont plus élevées en montagne (32,0-32,7 %) qu'en plaine (25,0 %) à nouveau en raison probablement de leur plus grande richesse en dicotylédones herbacées non légumineuses (27,1-43,3 % contre 0 % en plaine). Il est d'ailleurs probable que ces glycérides comportent des acides gras insaturés à longues chaînes (C18:1, C18:2, C18:3). On constate aussi une répartition inverse des *triglycérides à courtes chaînes.* Par analogie, on pourrait aussi penser que le glycéride C38 est constitué d'acides gras à courtes et moyennes chaînes.

5 - CONCLUSION

Outre les graminées omniprésentes, on constate que les pâtures de haute altitude sont riches en dicotylédones herbacées non légumineuses et que celles de basse altitude peuvent être riches en légumineuses. Cette différence de composition botanique semble influencer de façon significative la composition de la graisse des laits produits dans ces zones, tous les autres facteurs (ou paramètres) de l'étude étant comparables. Les changements constatés en passant de l'étage collinéen aux étages subalpins sont à peu près comparables à ceux observés après passage d'un fourrage d'hiver à un fourrage d'été. Ils vont encore dans le même sens, quoique moins marqués, que ceux provoqués par l'adjonc-

tion de graisses végétales au fourrage. Dans les deux cas, on constate une diminution des acides gras et de la plupart des glycérides à courtes et moyennes chaînes et une augmentation des acides gras insaturés et des glycérides à poids moléculaires élevés.

Le présent travail préliminaire a permis de déterminer les différences de la composition en matière grasse du lait selon les lieux d'observation en milieu naturel, non contrôlé. Une poursuite de cette étude visera à valider ces premiers résultats sur la base d'un affouragement avec des herbages et des rations énergétiques biens définis. L'effet des conditions climatiques y sera également pris en considération.

La composition en acides gras et en triglycérides de la matière grasse pourrait donc être une indication intéressante de l'origine « montagne » du lait et des produits laitiers dérivés (crème, fromage) dans une perspective AOC/AOP à côté d'autres traceurs tels que terpènes et hydrocarbures aromatiques polycycliques (fromage).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient MM. Raoul Daniel et Robert Sieber (Station fédérale de recherches laitières, Liebefeld) , Nicolas Doutaz (Institut agricole IAG, Grangeneuve/Posieux), Franz Jans (Station fédérale de recherche en production animale Grangeneuve/Posieux), Jan Scehovic et Jacques Troxler (Station fédérale de recherches en production végétale, Changins) et Gérald Steiger pour leur lecture critique du manuscrit.

Manuscrit reçu le 20 juin 1998, accepté le 20 octobre 1998.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANONYME, 1994. *Nachweis und Bestimmung von Fremdfetten in Milchfett anhand einer gaschromatographischen Triglyceridanalyse.* Deutsches Institut für Normen, DIN 10336.

BAUCHART D., 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.*, **76**, 3864-3881.

BOSSET J.O., BÜTIKOFER U., GAUCH R., SIEBER R. ,1994. Caractérisation de fromages d'alpages subalpins suisses : mise en évidence par GC-MS de terpènes et d'hydrocarbures aliphatiques lors de l'analyse par « Purge and Trap » des arômes volatils de ces fromages. *Schweiz. Milchw. Forsch.*, **23**, 37-41.

BOSSET J.O., BERGER T., BÜHLER-MOOR U., BÜTIKOFER U., COLLOMB M., DAFFLON O., GAUCH R., JEANGROS B., LAVANCHY

P., MARIACA R., SCEHOVIC J., SIEBER R., TROXLER J. ,1997. Comparison of some highland and lowland gruyere-type cheese of Switzerland : a study of their potential PDO/AOC/AOP characteristics. Authenticy and Adulteration of Food - the Analytical approach. *Proceedings of Euro Food Chem IX*, Vol 2, FECS-Event No 220, 395-400.

BOSSET J.O., BÜTIKOFER U., DAFFLON O., KOCH H., SCHEURER-SIMONET L., SIEBER R., 1998. Teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques de fromages avec et sans flaveur de fumée. *Sci. Aliments*, **18**, 347-359.

CHILLIARD Y.,1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents : A review. *J. Dairy Sci.*, **76**, 3897-3931.

COLLOMB M., SPAHNI M., BÜHLER T., 1998. Analyse des triglycérides. I. Optimisation et validation d'une méthode GC rapide et application à diverses graisses végétales et animales. *Trav. Chim. Aliment. Hyg.*, **89**, 59-74.

CULLIANE N., AHERNE S., CONNOLLY J.F., PHELAN J.A., 1984. Seasonal variation in the triglyceride and fatty acid composition of Irish butter. *Irish J. Food Sci.Technol.*, **8**, 1-12.

GERSON T., SHORTLAND F.B., WILSON G.F., REID C.W.S., 1968. Origin of glyceride fatty acids in cow milk fat. *J. Dairy Sci.*, **51**, 356-361.

GRUMMER R.R., 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3244-3257.

JEANGROS B., TROXLER J., CONOD D., SCEHOVIC J., BOSSET J.O., BÜTIKOFER U., GAUCH R., MARIACA R., PAUCHARD JP., SIEBER R., 1997. Etude des relations entre les caractéristiques des herbages et celles du lait, de la crème et du fromage de type L'Etivaz ou Gruyère. I. Présentation du projet. *Rev. Suisse Agric.*, **29**, 23-34.

JENKINS T.C., 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.*, **76**, 3851-3863.

JONES E.A., 1969. Reviews of the progress of dairy science. Section A. Recent developments in the biochemistry of the mammary gland. *J. Dairy Res.*, **36**, 145-167.

KENNELLY J.J., 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **60**, 137-152.

MARIACA R., BERGER T., GAUCH R., IMHOF M., JEANGROS B., BOSSET J.O., 1997. Occurence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *J. Food Agric. Chem.*, **45**, 4423-4434.

McGILL R., TUKEY J.W., LARSEN W.A., 1970. Variations of box plots. *Am. Stat.*, **32**, 12-16.

MUUSE B.G., WERDMULLER G.A., GEERTS J.P., KNEGT R.J., 1986. Fatty acid profile of dutch butterfat. *Neth. Milk Dairy J.*, **40**, 189-201.

PRECHT D., FREDE E., HAGEMEISTER H., TIMMEN H., 1985. Zur fütterungsbedingten Variation des Milchfettes der Kuh unter besonderer Berücksichtigung von Regulationsmechanismen beim Fettstoffwechsel. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, **87**, 117-126.

RENNER E., KOSMACK U., 1974. Genetische Aspekte zur Fettsäurezusammensetzung des Milchfettes. 1. Abgrenzung gegenüber nichtgenetischen Faktoren. *Züchtungskunde*, **46** , 90-99.

ULBERTH F., 1994. Milkfat - Determination of the fatty acid composition by gas-liquid chromatography. Revised Draft-Standard (Group - Fat - E 301). FIL-IDF.

WU Z., OHAJURUKA O.A., PALMQUIST D.L., 1991. Ruminal synthesis. Biohydrogenation and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3025-3034.

ZEGARSKA Z., JAWORSKI J., 1981. Effect of lactation period and seasonal feeding system on quantitative triglyceride composition of milk fat. *Milchwissenschaft*, **36**, 396-398.