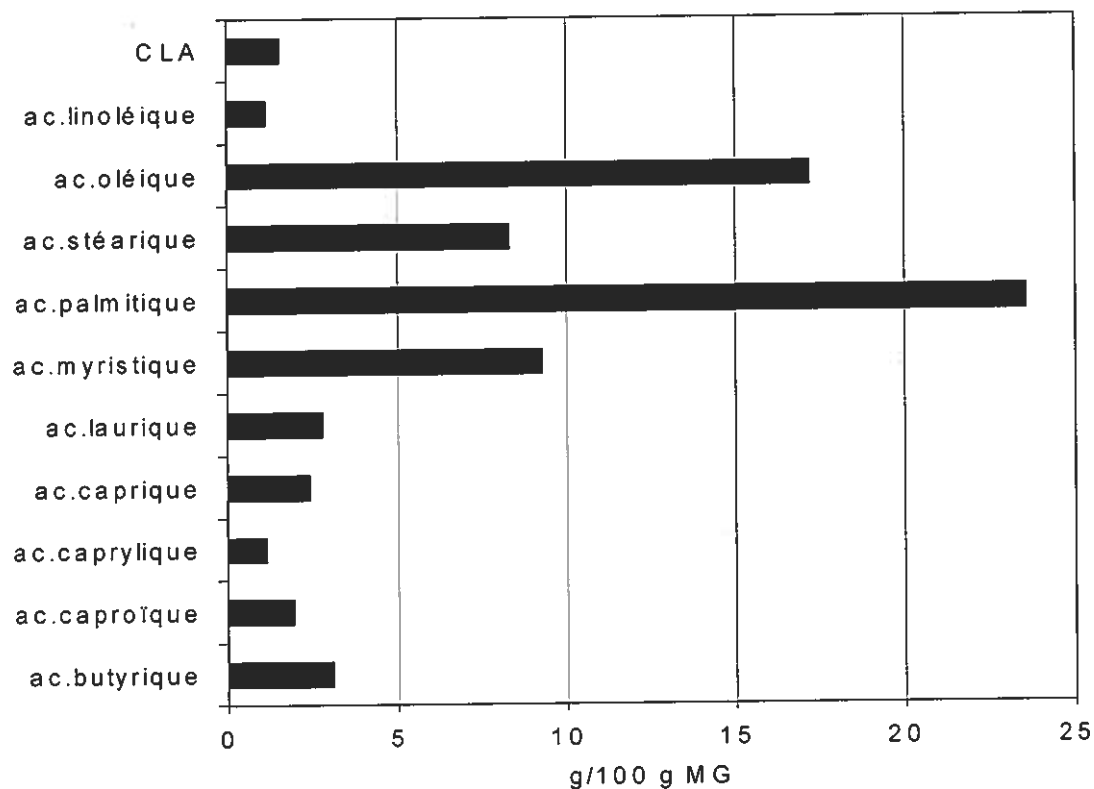


Novembre 2000 / 410 P/W

Station fédérale de recherches laitières
Liebefeld
CH-3003 Berne

Structure chimique et importance physiologique des acides gras et d'autres composants de la graisse de lait



M. Collomb, H. Eyer, R. Sieber

Table des matières

Résumé	1
1. Introduction	2
2. Structure chimique de la matière grasse laitière	2
3. Biosynthèse des acides gras	7
3.1 Biohydrogénation dans le rumen	7
3.2 Biosynthèse dans la glande mammaire	8
4. Composition de la matière grasse laitière	9
4.1 Composition en triglycérides	9
4.2 Composition en acides gras	10
5. Importance physiologique d'acides gras spécifiques et d'autres constituants de la matière grasse laitière	15
5.1 Acides gras saturés	15
5.1.1 Acides gras à courtes chaînes et approvisionnement énergétique	17
5.1.2 Acide butyrique	17
5.2 Acides gras insaturés	19
5.2.1 Acides gras ω -6 / ω -3	19
5.2.2 Acides linoléiques conjugués	20
5.2.3 Acides gras trans	21
5.3 Phospholipides	22
5.4 Sphingolipides	22
5.5 Antioxydants	23
5.6 Oxycholestérols	24
6. Conclusions	24
7. Bibliographie	25

Résumé

La composition de la matière grasse laitière est très diversifiée et fortement dépendante des conditions d'environnement de la vache. Parmi celles-ci, l'affouragement y exerce une influence prépondérante. L'herbe fraîche de haute valeur énergétique élève par exemple les teneurs en constituants favorables à la santé humaine et réduit ceux qui sont plutôt défavorables comme les acides gras saturés à moyennes chaînes. Les plus récents résultats de la recherche sur les acides gras sont à ce sujet très intéressants. Les propriétés défavorables sont en relation avec les valeurs LDL (Low Density Lipoprotein) élevées dans le sang et celles qui sont favorables avec le rôle de l'acide myristique sur les protéines. Les personnes qui consomment peu de matière grasse laitière ne renoncent pas seulement à des propriétés gustatives exceptionnelles et à la qualité d'un aliment naturel mais également à des acides gras physiologiquement importants pour la santé. De nombreuses connaissances présentées dans ce travail ont été possibles grâce aux progrès réalisés dans l'analytique de la matière grasse. Des exemples d'essais récents démontrent la manière très différenciée dont la composition de la matière grasse laitière peut être actuellement analysée. La recherche suisse a pu démontrer par exemple de quelle façon la flore alpine avec plus de 50 plantes différentes influence la composition de la matière grasse laitière et a pu ainsi prouver scientifiquement la haute valeur des produits laitiers alpins.

Les recherches nutritionnelles les plus importantes réalisées actuellement se font sur des acides gras particuliers comme les acides linoléiques conjugués (Conjugated Linoleic Acid = CLA) ou l'acide butyrique qui sont présents en quantités importantes dans la matière grasse laitière par rapport aux autres graisses. Les propriétés anticancérigènes des CLA, leurs actions favorables sur les tissus musculaires et leurs actions préventives envers l'artériosclérose en font des substances importantes de la composition des aliments. Le groupe des acides gras à courtes chaînes (acides butyrique, caproïque et caprylique) n'est pas moins intéressant. En dehors de leur fonction principale de subvenir à l'approvisionnement énergétique du foie, ces acides ont également des propriétés anticancérigènes ainsi qu'inhibitrices des inflammations de l'intestin.

1. Introduction

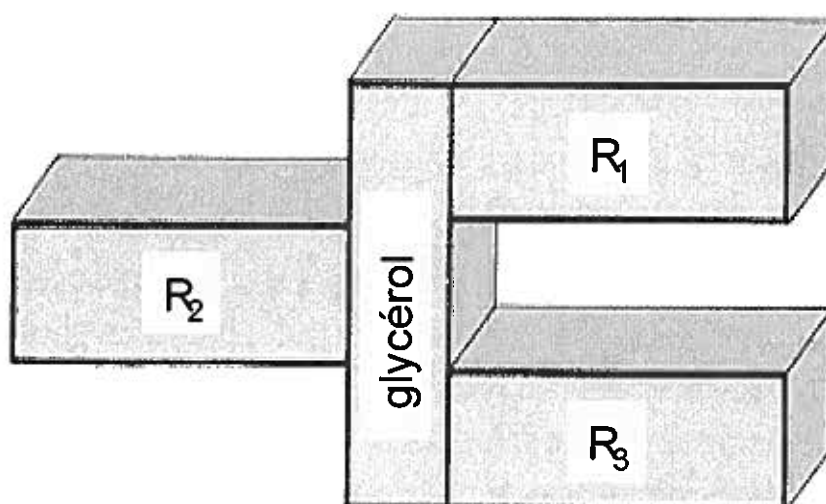
Le lait est un aliment de composition complexe constitué d'eau, d'hydrates de carbone, de matière grasse, de protéines ainsi que de vitamines, de sels minéraux et d'éléments en traces. Parmi ces composants, la matière grasse (MG) a fait l'objet de nombreuses recherches qui ont modifié le point de vue parfois négatif du public sur la MG laitière. Le but de ce document est donc de donner des informations actualisées sur la composition et l'importance physiologique de la MG laitière.

2. Structure chimique de la matière grasse laitière

Du point de vue chimique, la MG du lait est essentiellement composée de tri(acyl)glycérides, c'est à dire de substances formées de 3 acides gras et d'un glycérol (figure 1). Ces triglycérides sont abrégés selon la somme des atomes de carbone des 3 acides gras, sans compter ceux du glycérol (p. ex. C32). Comme les acides gras de la graisse de lait ont en général une longueur de chaîne paire, il en est de même pour les triglycérides (C24 à C54).

Il existe différents acides gras qui se différencient selon leur longueur de chaîne et les sortes de liaisons entre les atomes de carbone. On distingue les acides gras saturés et insaturés ainsi que les hydroxyacides et les acides cycliques (tableau 1).

Figure 1. Structure chimique des triacylglycérides (R_1 , R_2 , R_3 = restes d'acides gras) (R_1 , R_2 , R_3 sont aussi désignés sn1, sn2, sn3¹)



Les acides gras insaturés contiennent au moins une double liaison en configuration cis ou trans. Ces doubles liaisons peuvent être localisées selon le système oméga (ω) (désigné aussi par la lettre n) ou delta (Δ) (figure 2). Les acides gras ω -3 ou n-3 ont une première double liaison entre le 3e et le 4e atome de carbone (numérotation à partir du reste apolaire de l'acide gras). De manière analogue, un acide gras ω -6 ou n-6 a une première double liaison entre le 6e et le 7e atome de carbone. Si un acide gras possède plusieurs double liaisons, elles sont au minimum séparées par un groupe méthylène sauf pour les acides linoléiques conjugués par exemple qui ont 2 doubles liaisons conjuguées. Fréquemment, on emploie aussi le système de numérotation Δ , dans lequel la désignation Δ est cependant souvent omise. Dans ce cas, on numérote à partir du

¹ Il s'agit d'une désignation stéréospécifique.

groupe acide et la position de la double liaison est désignée selon le numéro du premier carbone où elle se situe.

Tableau 1. Nomenclature systématique et triviale des acides gras

<i>Abréviation</i>	<i>Nomenclature IUPAC acide</i>	<i>Nomenclature triviale acide</i>
C4	butanoïque	butyrique
C5	pentanoïque	valérique
C6	hexanoïque	caproïque
C7	heptanoïque	énanthique
C8	octanoïque	caprylique
C9	nonanoïque	pélargonique
C10	décanoïque	caprique
C10:1	décénoïque	caproléique
C12	dodécanoïque	laurique
C12 iso	iso-dodécanoïque	-
C12 aiso	aiso-dodécanoïque	-
C12:1c + C13	cis-dodécénoïque + tridécanoïque	-
C13 iso	iso-tridécanoïque	-
C14	tétradécanoïque	myristique
C14 iso	iso-tétradécanoïque	-
C14:1 t	trans-tétradécénoïque	t9:myristélaïdique
C14aiso	aiso-tétradécanoïque	-
C14:1 c	cis-tétradécénoïque	c9:myristoléique
C15	pentadécanoïque	-
C15iso	iso-pentadécanoïque	-
C16	hexadécanoïque	palmitique
C16 iso	iso-hexadécanoïque	-
C16:1 t	trans-hexadécénoïque	palmitélaïdique
C16 aiso	aiso-hexadécanoïque	-
C16:1c	cis-hexadécénoïque	c9:palmitoléique
C17	heptadécanoïque	margarique
C17iso	iso-heptadécanoïque	-
C17:1 t	trans-heptadécénoïque	-
C17aiso	aiso-heptadécanoïque	-
C18	octadécanoïque	stéarique
C18:1 t4	t4-octadécénoïque	-
C18:1 t5	t5-octadécénoïque	-
C18:1 t6-8	t6-8-octadécénoïque	t6:pétrosélaïdique
C18:1 t9	t9-octadécénoïque	élaïdique
C18:1 t10-11	t10-11-octadécénoïque	t11:transvaccénique
C18:1 t12 (ω6)	t12-octadécénoïque	-

<i>Abréviation</i>		<i>Nomenclature IUPAC acide</i>	<i>Nomenclature triviale acide</i>
C18:1 t13-14 + c 6-8		t13-14- + c6-8-octadécénoïque	-
C18:1 c9		c9- octadécénoïque	oléique
C18:1 c11		c11-octadécénoïque	vaccénique
C18:1 c12	(ω6)	c12-octadécénoïque	-
C18:1 c13		c13-octadécénoïque	-
C18:1 t16 + c14		c14- + t16-octadécénoïque	-
C19		nonadécénoïque	-
C18:2 ∑ ttNMID		ttNMID-octadécadiénoïque	-
C18:2 t9,t12	(ω6)	t9,t12-octadécadiénoïque	linoélaïdique
C18:2 c9t,13 + (t8,c12)		c9,t13-octadécadiénoïque	-
C18:2 c9t,12	(ω6)	c9,t12-octadécadiénoïque	-
+(ccMID+t8,c13)			
C18:2 t11,c15	(ω3)	t11,c15 + t9,c12-octadécadiénoïque	-
+ t9c12	(ω6)		
C18:2 c9,c12	(ω6)	c9,c12-octadécadiénoïque	linoléique
C18:2 c9,c15	(ω3)	c9,c15-octadécadiénoïque	-
C20		éicosénoïque	arachidique
C20:1 t		t-éicosénoïque	-
C18:3 c6,c9,c12	(ω6)	c6,c9,c12-octadécatriénoïque	γ-linolénique
C20:1 c5		c5-éicosénoïque	-
C20:1 c9		c9-éicosénoïque	gadoléique
C20:1 c11		c11-éicosénoïque	gondoïque
C18:3 c9,c12,c15	(ω3)	c9,c12,c15-octadécatriénoïque	α-linolénique
C18:2 c9,t11	CLA	c9,t11-octadécadiénoïque	ruménique
C18:2 c9,c11	CLA	c9, c11-octadécadiénoïque	-
C18:2 t9,t11	CLA	t9, t11-octadécadiénoïque	-
C20:2 c,c (n-6)	(ω6)	c,c-éicosadiénoïque	-
C22		docosénoïque	béhénique
C20:3 (n-6)	(ω6)	éicosatriénoïque (n-6)	homo-γ-linolénique
C20:3 (n-3)	(ω3)	éicosatriénoïque (n-3)	-
C20:4 (n-6)	(ω6)	éicosatetraénoïque (n-6)	arachidonique
C20:5 (EPA) (n-3)	(ω3)	c5,c8,c11,c14,c17-éicosapentaénoïque	timnodonique
C22:5 (DPA) (n-3)	(ω3)	c7,c10,c13,c16,c19-docosapentaénoïque	clupanodonique
C22:6 (DHA) (n-3)	(ω3)	c4,c7,c10,c13,c16,c19- docosaénoïque	-

Légende :

c = cis; t = trans

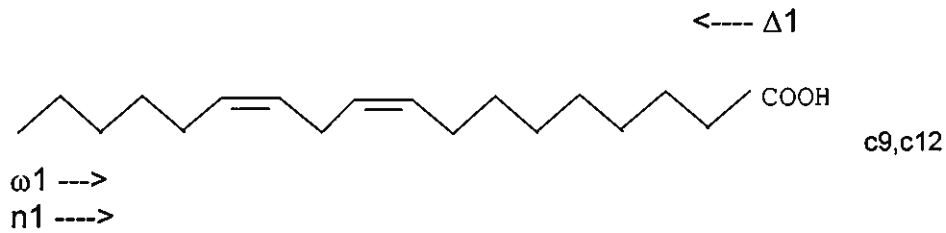
tt NMID = trans, trans non methylene interrupted diene

cc MID = cis, cis methylene interrupted diene

CLA = Conjugated Linoleic Acid (Acide linoléique conjugué)

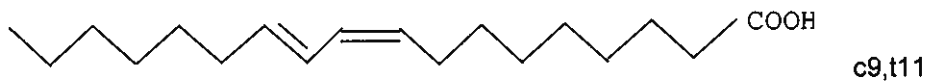
Figure 2. Structure des acides gras insaturés

Acide linoléique ou acide cis 9,cis 12-octadécadiénoïque = Acide gras ω -6



Acides linoléiques conjugués

Exemple: acide cis 9,trans 11-octadécadiénoïque

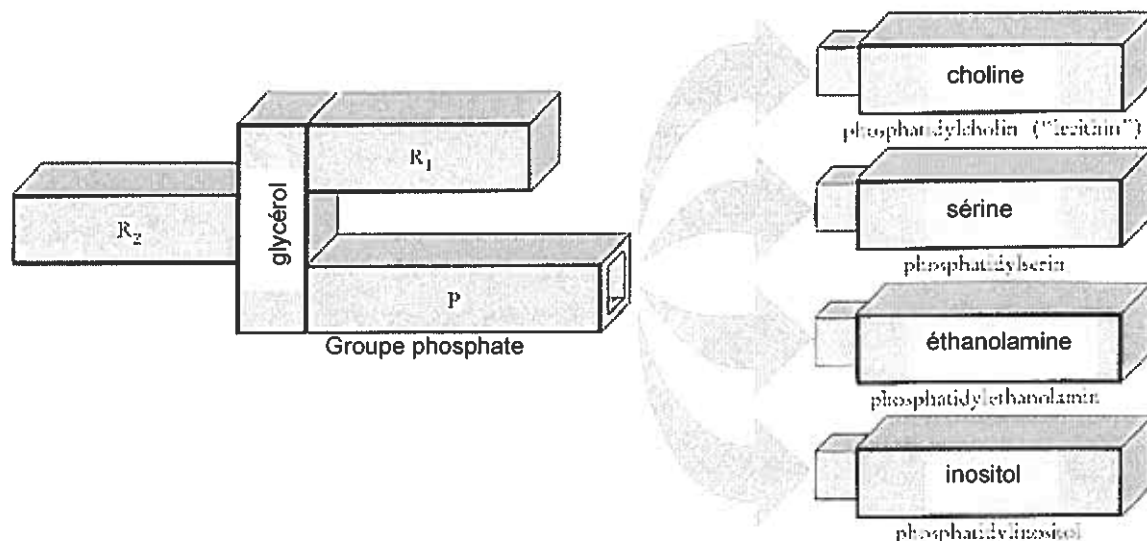


Les acides gras sont souvent classés en groupes selon leur longueur de chaîne. Ce groupement est cependant arbitraire et n'est pas toujours strictement observé. On distingue les acides gras:

- à courtes chaînes C4 à C10 (appelés souvent acides gras volatils)
- à moyennes chaînes C12 à C14
- à longues chaînes C16 à C24

A côté des triglycérides simples, la MG laitière contient encore toute une série de phospholipides constitutifs des membranes qui portent un groupe phosphorique à la place d'un acide gras. Ce groupe phosphorique, encore estérifié avec un reste plus ou moins polaire, permet d'obtenir une activité superficielle remarquable (activité émulsifiante). Ce reste peut être de la choline, de la sérine, de l'éthanolamine ou de l'inositol et ces phospholipides sont désignés par le préfixe phosphatidyl- (figure 3). La lécithine, souvent employé comme émulsifiant dans l'industrie alimentaire est donc aussi appelée phosphatidylcholine.

Figure 3. Structure chimique des phospholipides



3. Biosynthèse des acides gras

Les acides gras du lait de la vache peuvent provenir de deux sources différentes, la panse (ou le rumen) et la glande mammaire de l'animal (Demeyer et Doreau, 1999).

3.1 Biohydrogénation dans le rumen

En dehors de la composition du fourrage, différents facteurs biologiques peuvent encore influencer la composition en acides gras de la MG laitière. Il s'agit essentiellement des processus de biohydrogénation bactérienne et de désaturase.

Dans le rumen, les triglycérides, phospholipides ainsi que d'autres lipides du fourrage sont rapidement hydrolysés par les lipases extracellulaires. Les acides gras insaturés sont soumis à une biohydrogénation intensive par deux groupes de bactéries différentes conduisant à une augmentation des teneurs en acides gras saturés à longues chaînes dans la MG laitière. Le premier groupe hydrogénise les acides linoléique et α -linolénique pour former essentiellement de l'acide trans vaccénique (trans-11-octadécénoïque: C18:1 t). L'autre groupe de bactéries est capable d'hydrogéner les isomères cis et trans des acides insaturés en acide stéarique. Ces acides gras, particulièrement l'acide

stéarique (C18), peuvent également être désaturés partiellement par les désaturases présentes dans le tube digestif et dans la glande mammaire. C'est la raison pour laquelle l'acide oléique représente l'acide gras insaturé en concentration la plus importante dans la MG laitière. Ce mécanisme permet à la vache de maintenir le domaine de fusion de la MG laitière en dessous de sa température corporelle. La nature se soucie ainsi de maintenir des conditions idéales pour une conservation intacte des globules gras natifs. En raison de cette hydrogénation, la MG laitière est moins facilement oxydable et donc moins sujette au défaut oxydé.

En général, les acides gras provenant de la biosynthèse ont une configuration cis mais peuvent être transformés en acides gras trans par le processus de biohydrogénation. La biohydrogénation des acides gras insaturés peut être ralentie par addition au fourrage de graisses ou d'acides gras insaturés encapsulés. Ce procédé comporte en outre l'avantage de diminuer la formation des acides gras trans ou au moins de la limiter.

3.2 Biosynthèse dans la glande mammaire

Chez les ruminants, la synthèse des acides gras a lieu dans la glande mammaire lors de la lactation, soit dans les tissus adipeux en dehors de ce processus. Les acides gras du lait à nombre pair d'atomes de carbone, à courtes et moyennes chaînes (C4-C14), ont pour précurseurs l'acétyl-coenzyme A et le 3-hydroxybutyrate issus de la digestion microbienne des glucides dans le rumen. La biosynthèse dans la glande mammaire permet de former pratiquement tous les acides à courtes chaînes et pour environ la moitié de ceux à moyennes chaînes. L'autre moitié des acides gras à moyennes chaînes et pratiquement tous les acides gras à longues chaînes (C18:0 et plus) proviennent des acides gras sanguins ou de la mobilisation des tissus adipeux corporels. Après lipolyse des graisses, 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 gras polyinsaturés du lait, ils ne peuvent être synthétisés par voie microbienne et proviennent en quasi totalité d'acides préformés provenant essentiellement du fourrage. Après absorption, ces acides gras sont transportés dans le sang sous forme de lipoprotéines. La mauvaise résorption

de la fraction HDL (High Density Lipoprotein = lipoprotéines de haute densité) au niveau de la glande mammaire explique la faible teneur en acides gras polyinsaturés dans le lait (Bauchard, 1993; Chilliard, 1993; Grummer, 1991; Jenkins, 1993).

4. Composition de la matière grasse laitière

Le lait entier d'origine suisse contient en moyenne 4,0 g de MG par 100 g. Cette matière grasse est essentiellement constituée d'acides gras liés sous forme de triacylglycérides. Un grand nombre d'autres composants tels que les mono- et diglycérides, des acides gras libres, des phospholipides, du cholestérol, des vitamines liposolubles (A, D, E, K) y sont également présents. On y trouve aussi des composants en traces tels que des enzymes des membranes des globules gras et des produits aromatiques et de dégradation. Les constituants les plus importants de la MG laitière par rapport à 1 kg de MG sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Constituants les plus importants de la MG laitière, rapportés à 1 kg de MG

Constituant de la MG laitière	Unité	Concentration
Triglycérides	g/kg MG	980 – 990
Mono- et diglycérides	g/kg MG	3 – 15
Acides gras libres	g/kg MG	3 – 6
Phospholipides	g/kg MG	2 – 10
Cholestérol	g/kg MG	2,8 – 3,2
Vitamine A	mg/kg MG	9
Vitamine E	mg/kg MG	22
Vitamine D	mg/kg MG	0,013

4.1 Composition en triglycérides

Les quelques 400 acides gras de la MG laitière liables aux 3 positions OH du glycérol permettraient de former un nombre impressionnant de triglycérides (figure 1). On estime

qu'il existe plus de 1300 triglycérides dans la graisse de lait, dont 16 mélanges (C24 à C54) sont habituellement analysés. Le triglycéride C36 par exemple peut aussi bien être formé par combinaison des acides gras C4, C16, C16 que C8, C12, C16 ou d'autres combinaisons. Bien que la composition en triglycérides varie également en fonction de l'affouragement, elle représente surtout un moyen analytique pour déterminer une adultération de la MG laitière par des graisses végétales et animales. Le tableau 3 présente la composition en triglycérides de beurres de différentes saisons provenant de l'ensemble de la Suisse (Collomb et al., 1998).

Tableau 3. Composition en triglycérides de beurres suisses (% pondéral relatif) (n = 90) (Collomb et al., 1998)

Triglycéride	$\bar{x}$	s_x	$\tilde{x}$	Minimum	Maximum
C24	0,05	0,01	0,05	0,04	0,10
C26	0,26	0,02	0,26	0,22	0,33
C28	0,59	0,04	0,60	0,50	0,70
C30	1,14	0,09	1,15	0,95	1,29
C32	2,40	0,20	2,41	2,05	2,80
C34	5,75	0,43	5,69	5,14	6,78
C36	10,62	0,58	10,47	9,91	12,13
C38	12,52	0,20	12,51	12,15	13,05
C40	9,96	0,23	10,02	9,34	10,34
C42	6,61	0,33	6,61	5,99	7,24
C44	6,01	0,40	5,95	5,29	6,87
C46	6,82	0,35	6,75	6,17	7,64
C48	8,73	0,21	8,68	8,35	9,28
C50	11,30	0,46	11,29	10,41	12,14
C52	11,00	1,05	11,16	8,50	13,02
C54	5,92	0,95	6,11	3,75	7,22

$\bar{x}$ = Moyenne; s_x = Ecart-type; $\tilde{x}$ = Médiane; Min. = Minimum; Max. = Maximum

4.2 Composition en acides gras

La MG laitière se caractérise par un grand nombre et un large spectre d'acides gras allant de l'acide butyrique à l'acide stéarique ainsi qu'à d'autres acides gras à longues chaînes en faibles concentrations. Aujourd'hui, on parle de plus de 400 acides gras dont 15 se trouvent à des concentrations supérieures à 1,0 % (tableaux 4 et 5). Les autres

acides gras sont appelés mineurs. Les acides gras de la MG du lait peuvent être groupés de la manière suivante:

- Acides gras à courtes chaînes (C4 à C10) 10-11 %
- Acides gras saturés à moyennes chaînes (C12 à C14) 12-16 %
- Acides gras saturés à longues chaînes (C16 à C20) 35-45 %
- Acides gras insaturés à longues chaînes (C16 à C20) 25-35 %.

Tableau 4. Composition en acides gras d'échantillons de beurre provenant de sites subalpins et de fabrication industrielle de beurre de choix. Résultats donnés en % pondéral relatif des esters méthyliques des acides gras.

Ester méthylique d'acide gras		Eté/Subalpin* n=11	Eté** n=11	Hiver** n=12	Eté+hiver** n=23
butyrique	C4	4,15	4,36	4,36	4,36
caproïque	C6	2,20	2,48	2,57	2,52
caprylique	C8	1,20	1,40	1,43	1,42
caprique	C10	2,40	2,89	3,07	2,98
caproléique	C10:1	0,30	0,30	0,30	0,30
laurique	C12	2,75	3,57	3,83	3,69
Σ acides inconnus		0,55	0,50	0,50	0,50
myristique	C14	9,80	10,80	11,66	11,21
myristoléique	C14:1	1,20	-	-	-
Σ acides inconnus		1,85	3,30	3,36	3,33
palmitique	C16	24,80	27,22	32,23	29,72
palmitoléique	C16:1	1,95	1,63	1,79	1,70
heptadécanoïque	C17	0,75	0,60	0,66	0,63
Σ acides inconnus		1,15	0,60	0,66	0,63
stéarique	C18	10,60	9,64	8,73	9,20
oléique	C18:1	29,30	25,78	21,07	23,42
linoléique	C18:2	2,55	2,30	1,96	2,13
linolénique	C18:3	-	1,29	1,11	1,21
linolénique + gadoléique	C18:3 +C20:1	1,50	-	-	-
arachidique	C20	0,10	1,25	0,66	0,97

* Beurres d'été, étage subalpin: Collomb et al. (1999)

** Sieber et al. (1998)

En raison d'un affouragement différent, la saison influence la composition de la MG laitière, ce qui ressort particulièrement des données du tableau 4. L'affouragement à

l'herbe (aussi appelé « au vert ») conduit en général à des teneurs élevées en acides gras insaturés dans la MG laitière. Inversement, celui au foin (« au sec ») provoque une diminution de ces teneurs, ce qui a pour conséquence d'élever le point de fusion de la MG laitière et donc sa dureté. Avec des affouragements à haute valeur nutritive d'été, les acides polyinsaturés (essentiellement les acides linoléique et linolénique) sont présents en concentrations plus élevées dans la graisse de lait alors qu'ils le sont en concentrations plus faibles avec les fourrages d'hiver tels que le foin, les betteraves et le maïs ensilé.

Récemment, l'analytique des acides gras a été affinée (Collomb et Bühler, 2000) et il est actuellement possible de doser un grand nombre d'acides gras mineurs en plus de ceux donnés dans le tableau 4. Cette nouvelle méthode permet en outre de doser les acides gras en valeurs absolues, via l'utilisation d'un standard interne (tableau 5). C'est la raison pour laquelle les résultats des deux méthodes ne peuvent être comparés². Le tableau 6 présente les résultats d'acides gras groupés.

Tableau 5. Composition en acides gras de la MG laitière d'été et d'hiver, détermination en valeurs absolues à l'aide d'un standard interne (g d'acides gras par 100 g de MG) (Collomb et Bühler, 2000)

Acide gras (abréviations: voir Tab. 2)	Eté (n=17)				Hiver (n=17)			
	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.
C4	3,09	0,098	2,94	3,21	3,16	0,168	2,95	3,58
C5	0,02	0,002	0,02	0,02	0,02	0,006	0,02	0,04
C6	1,95	0,031	1,91	2,03	2,08	0,078	1,98	2,34
C7	0,03	0,003	0,03	0,04	0,03	0,005	0,02	0,04
C8	1,12	0,028	1,09	1,19	1,20	0,042	1,16	1,32
C10	2,38	0,081	2,26	2,54	2,56	0,091	2,46	2,75
C10:1	0,30	0,011	0,28	0,32	0,30	0,013	0,28	0,34
C12	2,78	0,112	2,63	3,00	3,12	0,134	2,94	3,43
C12 iso	0,03	0,002	0,03	0,04	0,02	0,002	0,02	0,03
C12 aiso	0,08	0,003	0,07	0,08	0,08	0,004	0,07	0,09
C12:1 + C13	0,14	0,009	0,13	0,16	0,16	0,006	0,15	0,17
C13 iso	0,10	0,004	0,10	0,11	0,12	0,006	0,11	0,13

² Toutes les méthodes dans lesquelles les résultats sont exprimés en pourcentage relatif des acides gras analysés donnent des valeurs trop élevées en raison des acides mineurs non considérés. Ce problème a été évité lors de ces essais par l'utilisation d'un standard interne (acide nonanoïque).

Acide gras (abréviations: voir Tab. 2)	Eté (n=17)				Hiver (n=17)			
	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.
C14	9,31	0,181	9,08	9,63	10,35	0,431	9,77	11,55
C14 iso	0,24	0,008	0,23	0,26	0,24	0,014	0,22	0,27
C14:1 t	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,003	0,01	0,02
C14 aiso	0,45	0,011	0,44	0,49	0,44	0,022	0,41	0,48
C14:1 c	0,86	0,024	0,82	0,90	0,88	0,051	0,79	0,99
C15	1,04	0,025	1,02	1,11	1,11	0,068	1,00	1,27
C15 iso	0,23	0,010	0,22	0,25	0,26	0,009	0,25	0,29
C16	23,52	0,490	22,69	24,26	28,69	1,236	27,26	32,18
C16 iso	0,36	0,011	0,34	0,38	0,30	0,020	0,25	0,33
C16:1 t	0,19	0,023	0,13	0,23	0,10	0,024	0,07	0,15
C16 aiso	0,73	0,031	0,65	0,79	0,61	0,072	0,45	0,72
C16:1 c	1,19	0,040	1,14	1,28	1,31	0,078	1,20	1,44
C17	0,63	0,084	0,49	0,73	0,49	0,064	0,37	0,58
C17 iso	0,05	0,002	0,05	0,06	0,06	0,007	0,05	0,07
C17:1 t	0,02	0,002	0,01	0,02	0,01	0,005	0	0,02
C17 aiso	0,22	0,006	0,21	0,23	0,25	0,019	0,22	0,29
C18	8,32	0,225	7,97	8,68	7,81	0,358	7,36	8,64
C18:1 t4	0,01	0,008	0,01	0,03	0,03	0,006	0,02	0,04
C18:1 t5	0,01	0,003	0,01	0,02	0,01	0,003	0	0,01
C18:1 t6-8	0,14	0,022	0,10	0,19	0,07	0,024	0,05	0,11
C18:1 t9	0,27	0,043	0,24	0,43	0,22	0,037	0,17	0,29
C18:1 t10-11	3,15	0,347	2,22	3,54	1,44	0,148	1,23	1,71
C18:1 t12	0,19	0,054	0,12	0,27	0,15	0,012	0,14	0,17
C18:1 t13-14 + c6-8	0,59	0,047	0,53	0,66	0,37	0,055	0,28	0,48
C18:1 c9	17,20	0,372	16,76	17,91	15,74	0,549	15,16	17,40
C18:1 c11	0,43	0,014	0,40	0,45	0,40	0,030	0,35	0,45
C18:1 c12	0,12	0,009	0,11	0,15	0,12	0,014	0,11	0,15
C18:1 c13	0,05	0,010	0,05	0,09	0,05	0,007	0,04	0,06
C18:1 c14+ t16	0,29	0,020	0,27	0,34	0,23	0,033	0,17	0,28
C19	0,10	0,023	0,04	0,13	0,08	0,016	0,06	0,12
C18:2 ttNMID	0,16	0,014	0,11	0,17	0,07	0,010	0,05	0,09
C18:2 t9,t12	0,02	0,003	0,01	0,03	0,01	0,003	0,01	0,02
C18:2 c9,t13 + (t8,c12)	0,26	0,010	0,24	0,28	0,15	0,015	0,12	0,17
C18:2 c9,t12 + (ccMID + t8c13)	0,29	0,027	0,25	0,32	0,24	0,015	0,21	0,26
C18:2 t11,c15 + t9,c12	0,52	0,057	0,34	0,58	0,22	0,035	0,17	0,28
C18:2 c9,c12	1,15	0,051	1,10	1,33	1,27	0,076	1,17	1,42
C18:2 c9,c15	0,04	0,004	0,04	0,05	0,04	0,004	0,03	0,04
C20	0,14	0,011	0,13	0,16	0,17	0,012	0,16	0,19
C20:1 t	0,04	0,003	0,04	0,05	0,04	0,028	0,03	0,14
C18:3 c6,c9,c12	0,01	0,002	0	0,01	0,01	0,004	0,01	0,02
C20:1 c5	0,01	0,002	0,01	0,02	0,01	0,001	0,01	0,01
C20:1 c9	0,13	0,009	0,12	0,15	0,16	0,037	0,13	0,29

Acide gras (abréviations: voir Tab. 2)	Eté (n=17)				Hiver (n=17)			
	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.
C20:1 c11	0,04	0,007	0,02	0,05	0,05	0,004	0,05	0,06
C18:3 c9,c12,c15	0,83	0,066	0,67	0,92	0,69	0,101	0,56	0,87
C18:2 c9,t11	1,44	0,170	1,02	1,68	0,64	0,073	0,53	0,76
C18:2 c9,c11	0,09	0,012	0,05	0,10	0,04	0,011	0,02	0,06
C18:2 t9,t11	0,02	0,014	0,02	0,06	0,02	0,004	0,01	0,03
C20:2 c,c (n-6)	0,02	0,002	0,02	0,03	0,03	0,004	0,02	0,03
C22	0,06	0,006	0,05	0,07	0,08	0,039	0,04	0,21
C20:3 (n-6)	0,05	0,006	0,04	0,06	0,05	0,006	0,04	0,06
C20:3 (n-3)	0,02	0,002	0,01	0,02	0,01	0,004	0,01	0,02
C20:4 (n-6)	0,09	0,010	0,09	0,11	0,10	0,010	0,09	0,12
C20:5 (EPA) (n-3)	0,08	0,004	0,07	0,09	0,07	0,007	0,06	0,09
C22:5 (DPA) (n-3)	0,11	0,005	0,10	0,12	0,10	0,006	0,09	0,11
C22:6 (DHA) (n-3)	0,01	0,002	0,01	0,02	0,01	0,002	0,01	0,02

$\bar{x}$: Moyenne; s_x : Ecart-type; Min.: Minimum; Max.: Maximum

Tableau 6. Classement en groupes des acides gras du tableau 5

Acides gras (Abréviations: voir Tab. 2)	Eté (n=17)				Hiver (n=17)			
	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.	$\bar{x}$	s_x	Min.	Max.
Σ courtes chaînes ¹⁾	8,90	0,135	8,52	9,35	9,36	0,211	8,88	10,40
Σ moyennes chaînes ²⁾	41,26	0,539	39,72	42,98	47,80	1,323	44,98	53,53
Σ longues chaînes ³⁾	37,46	0,607	34,15	40,41	31,84	0,702	29,42	36,27
Σ saturés ⁴⁾	56,99	0,605	54,67	59,49	63,10	1,386	59,38	70,64
Σ Sat. C12, C14 et C16	35,61	0,534	34,40	36,89	42,16	1,316	39,97	47,16
Σ C18:1	22,47	0,517	20,81	24,09	18,84	0,575	17,72	21,16
Σ C18:2	4,01	0,190	3,19	4,62	2,71	0,121	2,33	3,14
Σ insaturés ⁵⁾	30,48	0,558	27,58	33,08	25,50	0,607	23,52	29,09
Σ mono-insaturés ⁶⁾	25,26	0,520	23,38	27,11	21,71	0,586	20,29	24,61
Σ poly-insaturés ⁷⁾	5,39	0,202	4,20	6,16	3,79	0,158	3,23	4,48
Σ CLA ⁸⁾	1,55	0,171	1,09	1,85	0,70	0,084	0,57	0,86
Σ C18:1 t ⁹⁾	4,37	0,358	3,22	5,15	2,30	0,165	1,89	2,82
Σ C18:2 t sans CLA t ¹⁰⁾	1,25	0,066	0,95	1,38	0,70	0,043	0,56	0,81
Σ C18:2 t + CLA t ¹¹⁾	2,72	0,183	2,00	3,14	1,36	0,094	1,11	1,61
Σ trans sans CLA t ¹²⁾	5,88	0,365	4,35	6,83	3,17	0,174	2,56	3,97
Σ trans + CLA t ¹³⁾	7,35	0,402	5,40	8,60	3,83	0,193	3,11	4,76
Σ ω 3 ¹⁴⁾	1,62	0,087	1,24	1,79	1,15	0,107	0,94	1,43
Σ ω 6 ¹⁵⁾	1,91	0,081	1,71	2,27	2,02	0,090	1,80	2,42

$\bar{x}$: Moyenne; s_x : Ecart-type; Min.: Minimum; Max.: Maximum

- 1) C4 à C10:1
- 2) C12 à C16:1 c
- 3) C17 à C22:6
- 4) C4 à C10, C12, C12 iso, C12 aiso, C13 iso, C14, C14 iso, C14 aiso, C15, C15 iso, C16, C16 iso, C16 aiso, C17, C17 iso, C17 aiso, C18, C19, C20 und C22
- 5) C10:1, C14 :1 c+t, C16:1 c+t, C17:1 t, C18:1 t4 à c14+t16, C18:2 ttNMID à C18:2 c9,c15, C20:1 t à C20:2 cc, C20:3 (n-6) à C22:6 (n-3)
- 6) C10:1, C14:1 c+t, C16:1 c+t, C17:1 t, C18:1 t4 à c14+t16, C20:1 t à C20:1 c11
- 7) C18:2 -ttNMID à -c9,c15, C18:3 c6,c9,c12, C18:3 c9,c12,c15, C18:2 -c9,t11 à C20:2 cc, C20:3 à C22:6
- 8) CLA total (Somme C18:2 -c9,t11, -c9,c11, -t9,t11)
- 9) C18:1 -t4 à -t13-14
- 10) C18:2 t (Somme -ttNMID, -t9,t12, -c9,t13 + (t8,c12), -c9,t12 + (ccMID + t8,c13), -t11,c15 + t9,c12)
- 11) C18:2 t + CLA t (Somme -c9,t11, -t9,t11)
- 12) C14:1 t, C16:1 t, C17:1 t, C20:1 t, C18:1 t + C18:2 t (sans CLA t)
- 13) C14:1 t, C16:1 t, C17:1 t, C20:1 t, C18:1 t + C18:2 t + CLA t
- 14) C18:2 -t11,c15, -c9,c15, C18:3 c9,c12,c15, C20:3n-3, C20:5, C22:5 et C22:6
- 15) C18:1 -t12, -c12, C18:2 -t9,t12, -c9,t12, -c9,c12, C18:3 c6,c9,c12, C20:2 cc, C20:3 n-6 et C20:4 n-6

5. Importance physiologique d'acides gras spécifiques et d'autres constituants de la MG laitière

5.1 Acides gras saturés

Les critiques sur la MG laitière uniquement du point de vue de sa teneur en acides gras saturés et en cholestérol ne sont pas toujours justes. De plus, les méthodes officielles internationales souvent employées pour les doser donnent des teneurs surévaluées en raison de l'expression des résultats en pourcentage relatif des acides gras principaux, les acides gras mineurs n'étant pas pris en compte. La MG laitière contient en fait environ 60 g d'acides gras saturés totaux/100 g MG dont les 2/3 (40 g/100 g MG) correspondent aux acides gras saturés C12, C14 et C16 (tableau 6).

L'hypothèse lipidique postule qu'une teneur élevée en acides gras saturés et en cholestérol dans l'alimentation journalière conduit à une augmentation de la concentration en cholestérol dans le sérum sanguin, ce qui élèverait le risque des maladies cardiovasculaires. Selon les formules de Keys, de Hegsted et d'autres auteurs (Kris-Etherton et al., 2000), les acides gras saturés ainsi que le cholestérol de la MG laitière provoquent une augmentation de la concentration en cholestérol LDL (Low Density Lipoprotein = lipoprotéine de faible densité) dans le sérum sanguin et élèvent ainsi le risque de maladies cardiovasculaires. On n'a cependant jamais constaté d'augmentation des teneurs en cholestérol sanguin même après une forte

consommation de lait. C'est pourquoi on a effectué intensément et durant de nombreuses années des recherches dans les produits fermentés particulièrement sur une substance inconnue appelée "facteur lait" qui devrait diminuer les teneurs en cholestérol sanguin (Eichholzer et Stähelin, 1993). Parmi les acides gras saturés en relation avec une augmentation des teneurs en cholestérol du sérum sanguin, les acides laurique, myristique et palmitique sont considérés comme responsables alors que l'acide stéarique est plutôt neutre, c. à d. qu'il ne provoque pas de modifications notables des valeurs LDL et HDL. En outre, l'augmentation des risques de maladies cardiovasculaires dues aux acides gras saturés pour les individus en bonne santé a été récemment fortement mise en doute par des spécialistes en nutrition tels que Ravnskov (1998) et Gurr (1999) ainsi que Pollmer et Warmuth (2000). Dans son ouvrage paru récemment "The Cholesterol Myths", Ravnskov (2000) met encore une fois en doute cette hypothèse lipidique et démontre de manière exhaustive qu'il existe un autre point de vue que celui habituellement répandu sur le rôle de l'alimentation dans les affections cardiovasculaires.

L'affirmation selon laquelle certains acides gras saturés seraient malsains doit être corrigée au vu des nouvelles connaissances récemment acquises. L'acide laurique libre par exemple est un agent bactéricide contre *l'Helicobacter* (Petschow et al., 1996). L'acide myristique a un rôle important dans la régulation de diverses fonctions cellulaires. Il acyle des protéines qui peuvent être ensuite incorporées dans les membranes. Ce phénomène influence notamment la conformation, la stabilisation et le repliement des protéines. En outre, cet acide est plus intensément catabolisé que l'acide palmitique chez l'être humain. L'alimentation est la source principale d'acide myristique. On en trouve essentiellement dans la MG laitière et dans un nombre restreint d'huiles végétales comme les huiles de palme et de coprah. Il y est présent essentiellement en position sn2 des triglycérides et est absorbé en tant de 2-monoglycéride (Legrand et Rioux, 2000). Enfin, on a constaté chez le rat qu'une consommation élevée de lait le protège d'une infection due aux *listéries* mais pas à celle due aux *salmonelles*. On attribue cette propriété aux acides gras C10, C12 et C14 ainsi qu'aux monoglycérides C12, C14 et C16 (Sprong et al., 1999).

5.1.1 Acides gras à courtes chaînes et approvisionnement énergétique

Quant aux acides gras à courtes chaînes, on leur reconnaît un rôle positif pour la santé. Ces acides sont en premier lieu utilisés dans le corps humain pour l'approvisionnement énergétique du foie et des cellules de l'épithélium de l'intestin. Ils ne sont cependant physiologiquement actifs que sous leurs formes libres ou de monoglycérides, ce qui suppose une lipolyse préalable. Cette dernière est d'ailleurs facilitée par la position extérieure (sn-3) de ces acides gras dans les triglycérides, bien atteignable par les lipases pancréatiques. Ces acides sont absorbés dans l'intestin grêle et l'accès direct à la veine porte assure un approvisionnement rapide du foie (Smith et al., 1998). Ils participent également à l'approvisionnement énergétique des cellules du système digestif supérieur. Ils sont directement à disposition après lipolyse des triglycérides ou sont apportés par l'intermédiaire des aliments. Les cellules de l'épithélium du colon sont cependant surtout alimentés par la fermentation des fibres brutes par la flore microbienne du colon. Parmi ces acides gras à courtes chaînes, l'acide butyrique représente une source d'énergie optimale pour les cellules de l'épithélium de l'intestin qui apparaît même supérieure à celle obtenue par le glucose et la glutamine. Quant à l'acide acétique et particulièrement l'acide propionique, ils représentent des sources énergétiques moins favorables. En ce qui concerne les acides caproïque, valérianique et caprylique ainsi que d'autres acides à courtes chaînes, il n'existe malheureusement en ce moment que des indications bibliographiques rudimentaires qui ne permettent pas de les évaluer.

5.1.2 Acide butyrique

Actuellement, les acides gras à courtes chaînes prennent une place toujours plus importante dans la recherche nutritionnelle. Les essais *in-vitro* avec des cellules cancéreuses et ceux sur les animaux ont démontré le grand potentiel anticancérigène des acides gras à courtes chaînes et en particulier de l'acide butyrique. Les travaux dans ce domaine ont été initiés par les connaissances issues de la recherche sur les fibres alimentaires. Des études épidémiologiques ont permis d'émettre l'hypothèse

qu'une alimentation riche en fibres diminue les risques de cancer du colon³. Par dégradation microbienne de ces fibres alimentaires dans l'intestin, il se forme des acides à courtes chaînes et en particulier de l'acide butyrique qui exercent apparemment une influence favorable sur les cellules enflammées (Smith et al., 1998). La formation des acides gras à courtes chaînes peut être améliorée, spécialement dans les produits fermentés, par ajout d'agents prébiotiques (p. ex. oligosaccharides) comme le démontrent des travaux récents (LeBlay et al., 1999).

L'acide butyrique de la MG laitière est préférentiellement libéré non seulement lors de la digestion dans l'intestin grêle mais déjà dans l'estomac par les lipases des lèvres. Des produits fromagers bien mûris peuvent être considérés comme une source exogène importante d'acides gras libres à courtes chaînes. Leurs teneurs peuvent y atteindre des valeurs élevées qui conduiraient à des défauts de goût dans d'autres denrées alimentaires. Parmi les aliments, la MG du lait est la source la plus importante en acides gras à courtes chaînes (sous forme de triglycérides) et particulièrement en acide butyrique (tableau 5).

Bien que le mécanisme dans le colon soit relativement bien connu, il ne peut être transposé qu'hypothétiquement à d'autres sortes de cancer. Les recherches sur le colon ont montré que les acides gras à courtes chaînes provoquent l'apoptose⁴ des cellules cancéreuses (Smith et al., 1998). D'une manière générale, ces acides gras sont rapidement transportés par le sang dans le foie qui les absorbent efficacement. On a pu démontrer que leurs concentrations dans les veines du foie sont seulement de 39 % de celles dans le sang de la veine porte. L'acide butyrique peut donc être considéré comme une substance induisant l'apoptose dans le foie également comme le démontre des recherches effectués sur des cultures de cellules de foie incubés avec de l'acide butyrique ou de la tributyrine⁵ (Watkins et al., 1999). Chez les rats, Belobrajdic et

³ En outre, on ne doit pas sous-estimer que le calcium, un constituant important du lait et des produits laitiers, peut également participer à la prévention du cancer du colon. En combinaison avec le phosphate, il précipite les acides biliaires et les produits du métabolisme de l'hème dans le lumen de l'intestin, diminuant ainsi l'endommagement cellulaire dans l'intestin (van der Meer et al., 1997).

⁴ Apoptose = mort programmée des cellules; un processus par lequel la cellule meurt suite à une série de réactions biochimiques.

⁵ La tributyrine est un triglycéride formé de trois molécules d'acide butyrique.

McIntosh (2000) ont encore récemment démontré que le cancer du sein induit par du nitrosométhylurée pouvait être réduit par adjonction d'acide butyrique ou de tributyrine. La demi-vie de l'acide butyrique semble cependant trop courte pour des buts thérapeutiques. Si on veut soigner des inflammations, des tumeurs ou des leucémies par des ajouts d'acide butyrique, il est plutôt recommandé d'employer de la tributyrine qui a une demi-vie plus longue.

5.2 Acides gras insaturés

5.2.1 Acides gras ω -6 / ω -3

Les acides gras polyinsaturés assurant de nombreuses fonctions dans les membranes peuvent être divisés en 2 familles distinctes (ω -6 ou n-6 et ω -3 ou n-3). Dans le corps humain, il se forme en plusieurs étapes à partir de l'acide linoléique (ω -6, C18:2 c9,c12) l'acide arachidonique (ω -6, C20:4 c5,c8,c11,c14) et de l'acide α -linoléique (ω -3, C18:3 c9,c12,c15) l'acide éicosapentaénoïque (EPA, ω -3, C20:5 c5,c8,c11,c14,c17) et de ce dernier l'acide docosahexaénoïque (DHA, ω -3, C22:6 c4,c7,c10,c13,c16,c19). Ces acides gras polyinsaturés sont les précurseurs des prostaglandines, prostacyclines, thromboxanes et leucotriènes qui influencent les fonctions des muscles lisses, des endothéliums, des monocytes, des thrombocytes ainsi que de certaines réactions immunologiques et inflammatoires. Les prostaglandines formées à partir des acides gras ω -6 conduisent manifestement à une augmentation de la formation des thrombocytes liés à une coagulation du sang plus rapide. Une alimentation avec des acides gras hautement polyinsaturés sous la forme de 200-300 g de poisson gras par jour par exemple conduit à une augmentation des teneurs en acides gras ω -3 et donc à un temps de coagulation prolongé et à une tendance réduite à l'agrégation des plaquettes sanguines. Ces caractéristiques devraient favoriser la consommation de poisson. D'autre part, ces acides exercent une influence positive lors d'inflammations.

Dans la MG laitière, le rapport entre les acides gras ω -6 : ω -3, d'environ 2 : 1 est très favorable (tableau 5)⁶. Un affouragement à l'herbe par rapport aux fourrages ensilés permet en général d'augmenter les teneurs en acide ω -3 écosa- et

⁶ Dans le lait maternel, ce rapport est très dépendant de l'alimentation de la mère.

docosapentaénoïque et de manière plus limitée en acide docosahexaénoïque dans la MG laitière (Hebeisen et al., 1993). Selon les plus récentes recommandations nutritionnelles (D-A-CH, 2000), le rapport ω -6 : ω -3 devrait être inférieur à 5 : 1, alors que les anciennes recommandations étaient de 5 : 1 à 15 : 1. Le pourcentage d'énergie nécessaire recommandé pour l'être humain est de 2,5 % pour les acides ω -6 et 0,5 % pour les acides ω -3. La part de ces acides dans l'alimentation ne devrait par conséquent pas être trop basse.

5.2.2 Acides linoléiques conjugués

On comprend par acides linoléiques conjugués (CLA = Conjugated Linoleic Acid) un groupe d'isomères de l'acide linoléique avec 2 double liaisons cis et/ou trans conjuguées (groupe diénique), contrairement à l'acide linoléique dans lequel les 2 double liaisons sont séparées par un groupe méthylène (voir figure 2). Ce groupe de substances apparaît essentiellement dans la MG laitière des ruminants ainsi que dans leur graisse corporelle. Ils proviennent du processus de biohydrogénation des acides gras polyinsaturés par la bactérie *Butyrovibrio fibrisolvens* du rumen. Les facteurs influençant les teneurs en CLA de la MG du lait sont la composition du fourrage (sortes d'herbages, adjonction d'huiles végétales etc.) et ses restrictions, la saison, l'âge de la bête ainsi que sa race. Les teneurs en CLA dans la MG laitière dépendent avant tout de la teneur en acides gras polyinsaturés du fourrage.

Precht et Molkentin (1999) ont déterminé dans 1756 échantillons de MG laitière des teneurs en CLA de 0,1 à 1,9 g/100 g d'acides gras. Dans des cas spéciaux, comme dans le lait produit à l'étage subalpin, les teneurs moyennes en CLA peuvent atteindre des valeurs de 2,4 g (maximum 2,9 g) par 100 g de MG (Collomb et al., 2000). De même, un affouragement avec de hautes teneurs en graines de colza et de soja (jusqu'à 3 kg/jour) peut provoquer une augmentation des teneurs en CLA jusqu'à 2,5 g/100 g d'esters méthyliques d'acides gras (Lawless et al., 1998).

La recherche nutritionnelle sur les CLA a pris une importance considérable ces dernières années (MacDonald, 2000; Parodi, 1999; Sieber, 1995). Des essais *in vitro*-ainsi que sur des animaux ont permis de mettre en évidence les propriétés

anticancérigènes, antiathérogéniques et antidiabétiques, l'augmentation de la masse musculaire au détriment de la masse lipidique, les améliorations des fonctions immunologiques et de la formation osseuse. La plupart des études entre les CLA et le cancer ont été faites à l'aide d'un mélange synthétique d'isomères, essentiellement des CLA c9,t11 et t10,c12, bien que le dernier isomère favorise surtout les modifications de la masse corporelle (Park et al., 1999). Dans une publication récente, des rats ont été traités par du beurre contenant 4,1 g de CLA/100 g d'acides gras totaux. On a obtenu une réduction du cancer du sein d'environ 50 % par rapport au groupe de contrôle et on a pu démontrer que le CLA c9,t11 était la substance la plus active (Ip et al., 1999).

5.2.3 Acides gras *trans*

Les acides gras *trans* (C18:1 t + C18:2 avec au moins une double liaison *trans*), composés intermédiaires de la biohydrogénation des acides polyinsaturés dans le rumen, peuvent, comme les acides gras saturés augmenter les risques d'artériosclérose et des maladies cardiovasculaires (élévation du cholestérol LDL et réduction de la forme HDL). L'isomère C18:2 t9t12 en particulier altère la biosynthèse des acides polyinsaturés à longue chaîne par inhibition de la $\Delta 6$ -désaturase ce qui conduit à une réduction de la synthèse des prostaglandines (Kinsella et al., 1979). Selon Precht et Molkentin (1999), les teneurs moyennes mesurées durant l'année des acides gras *trans* C18:1 (somme t4 - t16) et *trans* C18:2 (sans CLA, somme des t9t12, c9t13, t8c12, t8c13, c9t2, t9c12, t11c15) sont respectivement de 3,62 et 0,63 g/100 g d'acides gras. En passant de la période d'hiver à celles de transition puis d'été, les teneurs moyennes en *trans* C18:1 sont respectivement de 2,65, 3,80 et 5,08 g et celles en *trans* C18:2 de 0,46, 0,66 et 0,87 g/100 g d'acides gras. Dans les aliments en général, les concentrations en acides gras *trans* ont baissé ces dernières années (Aro et al., 1998) en raison de l'adaptation des processus technologiques visant à leur réduction, spécialement dans les graisses végétales hydrogénées. La consommation journalière par individu des acides gras *trans* totaux (C18:1 + C18:2) se situe entre 2 et 13 g par jour selon les habitudes alimentaires de divers pays (Fritsche et Steinhart, 1998).

Dans la MG laitière, en raison des concentrations relativement faibles en acides gras *trans*, ces derniers ne présentent pas un problème grave. De plus, les chercheurs n'ont

pas encore suffisamment étudié l'effet des acides gras trans particuliers. Dans la graisse laitière, il se forme essentiellement de l'acide trans-vaccénique. Par contre, dans les huiles végétales hydrogénées, on constate surtout la présence d'acide élaïdique. Il est en effet probable que certains acides gras trans ne jouent pas un rôle aussi négatif pour la santé humaine.

5.3 Phospholipides

Des ulcères d'estomac peuvent apparaître chez l'être humain en raison de hautes teneurs en acide chlorhydrique, en sels biliaires, en éthanol, en acide acétylsalicylique (aspirine) ainsi que par le stress. Il est connu depuis longtemps que le lait a un effet protecteur. Dans des études sur des êtres humains dans lesquelles on a provoqué la formation d'ulcères avec de l'éthanol et de l'aspirine, on a démontré que les phospholipides du lait et les MG du babeurre (riches en phospholipides) exerçaient un effet protecteur (Kivinen et al., 1992). Chez les rats, chez qui on a également provoqué la formation d'ulcères par le stress, le lait entier, le lait maigre et la crème avaient aussi un effet protecteur (Dial et al., 1995). Il est accepté que cette action protectrice provient de la couche hydrophobe sur la muqueuse de l'estomac formée par les phospholipides. Ces derniers se composent de phosphatidylcholine (lécithine), de phosphatidyléthanolamine et de sphingomyéline ainsi que de phosphatidylsérine, de phosphatidylinositol, de plasmalogène et de traces de lysophosphatidylcholine et de lysophosphatidyléthanolamine ainsi que de diphosphatidylglycérol, de céramides, de cérébrosides et gangliosides. Ils se trouvent pour les deux tiers dans la membrane des globules gras et le reste dans le lait maigre.

5.4 Sphingolipides

Il s'agit d'un groupe de substances qui contiennent de la sphingosine comme substance de base. Ce groupe comprend les céramides (= sphingosine amidée liée à un acide gras), les sphingomyélines, les cérébrosides, les gangliosides et les sulfatides. Les sphingolipides font partie intégrante des membranes cellulaires et des lipoprotéines et on les retrouve en concentrations relativement faibles dans la plupart des denrées alimentaires. Comme ces substances sont essentielles et participent à l'approvisionnement énergétique, elles sont plutôt considérées comme des constituants

fonctionnels des aliments. Les teneurs en sphingolipides du lait et des produits laitiers se situent entre 67 et à peine 1275 mg/kg⁷: lait 120, lait à teneur réduite en MG 69, crème (37 % MG) 1270, fromage (29 % MG) 995 et beurre 345 mg/kg. Les teneurs en sphingomyélines dans le lait varient entre 39 et 119 mg/l, en glucosylcéramides entre 6 et 11 mg/l, en lactosylcéramides entre 6,5 et 15 mg/l et en gangliosides d'environ 11 mg/l. Le lait et les produits laitiers couvrent avec 0,32 g environ le 30 % des besoins journaliers en sphingolipides. Les sphingolipides et leurs produits de digestion comme les céramides et sphingosines sont des composés particulièrement bioactifs qui agissent de manière importante sur la régulation cellulaire. Ces mécanismes règlent la croissance, la différenciation cellulaire et l'apoptose. Selon des études encore très limitées sur les animaux, les sphingolipides semblent inhiber la cancérogenèse du colon, réduire les teneurs en cholestérol LDL du sérum et élever la forme HDL. Les sphingosines et les céramides sont aussi capables d'induire l'apoptose des cellules humaines cancéreuses. Des souris femelles ont été traitées par une substance cancérigène (1,2-diméthylhydrazine) pour le colon puis alimentées avec de la sphingomyéline extraite de poudres de lait et avec des glycosphingolipides (glucosyl- et lactosylcéramides, gangliosides) extraites du babeurre. Dans le colon, le nombre de foci aberrantes, un marqueur précoce de la formation du cancer du colon, a été fortement réduit. Chez les souris avec une défectuosité génétique, qui est semblable à celle de beaucoup de cancers du colon chez l'être humain, l'alimentation avec de la sphingomyéline a réduit le nombre de tumeurs (Schmelz et al., 2000; Vesper et al. 1999).

5.5 Antioxydants

On a présumé que les CLA avait des actions antioxydantes mais ce n'est pas le cas (van den Berg et al., 1995). Cependant, le lait contient d'autres substances antioxydantes auxquelles on attribue des propriétés anticancérigènes indirectes en raison de leur capacité de fixer les radicaux libres telles que des substances solubles dans l'eau (vitamine C, sélénium) ou dans les graisses (vitamine A et E, β -carotène). La vache extrait des fourrages des produits tels que les isoprénoides (p.ex. des β -ionones)

⁷ Pour les sphingolipides, on calcule avec un poids moléculaire moyen de 750 g/mol.

ou des substances comme le gossipol qui ont des effets analogues. Dans ce domaine, une étude des stations agronomiques suisses en liaison avec un affouragement à l'étage subalpin a démontré qu'un grand nombre de constituants des herbages alpins se retrouvent dans le lait (Mariaca et al., 1997).

5.6 Oxycholestérols

En dehors des acides gras saturés, du cholestérol, des LDL et HDL, les produits d'oxydation du LDL peuvent être également mis en relation avec l'artériogenèse. On estime que ces produits d'oxydation pourraient être des facteurs de risques importants (Thomas, 2000). Le cholestérol, présent en tant que substance naturelle dans les graisses des denrées alimentaires animales, peut également être oxydé par l'oxygène de l'air. La température de stockage peut également accélérer l'oxydation. On attribue à ces produits d'oxydation des propriétés négatives pour la santé humaine. En dehors des propriétés athérogéniques, ces substances présentent aussi des effets cytotoxiques et mutagènes. Elles influencent également les membranes cellulaires et le métabolisme du cholestérol. Après des recherches intensives à la Station fédérale de recherches laitières, on a constaté que le lait et les produits laitiers ne formaient pas d'oxycholestérols dans des conditions normales de fabrication, de stockage et de chauffage (Rose-Sallin et al., 1996).

6. Conclusions

La MG laitière contient un grand nombre de substances physiologiquement importantes. Consommée sous forme de lait, de fromage, de beurre, de yoghurt, de spécialités laitières, de pâtisseries ainsi que d'autres denrées alimentaires, elle est une des rares graisses alimentaires qui est contenue à l'état non raffiné dans les aliments. Elle est non seulement une source exceptionnelle de divers acides gras mais aussi de vitamines liposolubles, de phospholipides, de sphingosines et de divers antioxydants. En raison de son aspect naturel et de ses arômes particulièrement riches, elle améliore les propriétés sensorielles des aliments et participe donc de manière décisive aux sensations

gustatives agréables du chocolat, des crèmes et crèmes glacées ainsi que de beaucoup d'autres desserts.

Au vu des critiques formulées contre la MG laitière, il s'est avéré nécessaire d'étudier les résultats des recherches récentes de façon à corriger des affirmations pas toujours prouvées. Le principal reproche adressé à la MG laitière concerne ses effets favorisant les affections cardiovasculaires. Si les acides gras saturés C12, C14 et C16 ainsi que les acides gras trans peuvent avoir de tels effets, bien que des spécialistes relativisent actuellement ces affirmations pour les acides gras saturés, il ne faut pas oublier que ces effets concernent surtout des personnes à risques. Un fait qui n'est pas suffisamment relevé est que dans des produits beurrés, les avantages de la MG laitière dépassent largement ses inconvénients lorsqu'elle est consommée en quantités raisonnables et complétée avec des graisses végétales appropriées. Dans les autres produits laitiers, les concentrations en acides gras trans et saturés sont évidemment réduites en proportion de leurs teneurs en matière grasse.

Divers acides gras contribuent au maintien et à l'amélioration de la santé humaine. La nature se charge souvent de compenser les effets négatifs de certaines substances par d'autres qui ont des effets positifs pour la santé. Les effets les plus positifs mis à jour par les recherches récentes sont ceux concernant les substances anticancérigènes de la MG laitière tels que les acides gras à courtes chaînes, surtout l'acide butyrique, les CLA et les sphingolipides. Quant aux phospholipides, leurs effets thérapeutiques sur les ulcères de l'estomac sont connus depuis longtemps. Les instituts de recherches laitières voient dans ces nouveaux résultats de la recherche une chance de mettre dans un relief plus favorable la MG du lait et des produits laitiers.

7. Bibliographie

- Aro A., Antoine J.M., Pizzoferrato L., Reykdal O., van Poppel G.: Trans fatty acids in dairy and meat products from 14 European countries: The TRANSFAIR study. J.Food Composit.Anal. 11, 150-160 (1998)
- Bauchard D.: Lipid absorption and transport in ruminants. J.Dairy Sci. 76, 3864-3881 (1993)
- Belobrajdic D.P., McIntosh G.H.: Dietary butyrate inhibits NMU-induced mammary cancer in rats. Nutr.Cancer 36, 217-223 (2000)

- Chilliard Y.: Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents: a review. *J.Dairy Sci.* 76, 3897-3931 (1993)
- Collomb M., Bühler T.: Analyse de la composition en acides gras de la graisse de lait. I. Optimisation et validation d'une méthode générale à haute résolution. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 91, 306-332 (2000)
- Collomb M., Bütikofer U., Sieber R., Bosset J.O., Jeangros B.: Conjugated linoleic acid and trans fatty acid composition of cow's milk fat produced in low- and high-land regions. zur Publikation eingereicht (2000)
- Collomb M., Bütikofer U., Spahni M., Jeangros B., Bosset J.O.: Composition en acides gras et glycérides de la matière grasse du lait de vache en zones de montagne et de plaine. *Sci. Aliments* 19, 97-110 (1999)
- Collomb M., Spahni M., Bühler T.: Analyse des triglycérides. II. Validation d'une méthode de regression multilinéaire pour le dosage de graisses étrangères dans la graisse de lait. *Trav.chim.alimen.hyg.* 89, 75-83 (1998)
- D-A-CH (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 1. Auflage, Umschau Braus GmbH, Frankfurt (2000)
- Demeyer D., Doreau M.: Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc.Nutr.Soc.* 58, 593-607 (1999)
- Dial E.J., Romero J.J., Lichtenberger L.M.: Gastroprotection by dairy foods against stress-induced ulcerogenesis in rats. *Dig.Dis.Sci.* 40, 2295-2299 (1995)
- Eichholzer M., Stähelin H.: Is there a hypocholesterolemic factor in milk and milk products. *Int.J.Vitam.Nutr.Res.* 63, 159-167 (1993)
- Fritsche J., Steinhart H.: Analysis, occurrence, and physiological properties of trans fatty acids (TFA) with particular emphasis on conjugated linoleic acid isomers (CLA) - a review. *Fett-Lipid* 100, 190-210 (1998)
- Grummer R.R.: Effect of feed on the composition of milk fat. *J.Dairy Sci.* 74, 3244-3257 (1991)
- Gurr M.: Lipids in nutrition and health: a reappraisal. The Oily Press, Bridgewater (1999)
- Hebeisen D.F., Hoeflin F., Reusch H.P., Junker E., Lauterburg B.H.: Increased concentrations of ω -3 fatty acids in milk and platelet rich plasma of grass-fed cows. *Int.J.Vitam.Nutr.Res.* 63, 229-233 (1993)
- Jenkins T.C.: Lipid metabolism in the rumen. *J.Dairy Sci.* 76, 3851-3863 (1993)
- Ip C., Banni S., Angioni E., Carta G., McGinley J., Thompson H.J., Barbano D., Bauman D.: Conjugated linoleic acid-enriched butter fat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J.Nutr.* 129, 2135-2142 (1999)
- Kinsella J.E., Hwang D.H., Yu P., Mai J., Shimp J. : Prostaglandins and their precursors in tissues from rats fed on trans, trans-linoleate. *Biochem.J.* 184, 701-704 (1979)
- Kivinen A., Tarpila S., Salminen S., Vapaatalo H.: Gastroprotection with milk phospholipids: a first human study. *Milchwissenschaft* 47, 694-696 (1992)
- Kris-Etherton P.M., Zhao G., Etherton T.D.: Individual fatty acids and esterification effects on blood lipids. *Bull.Int.Dairy Federation* 353, 26-30 (2000)
- Lawless F., Murphy J.J., Harrington D., Devery R., Stanton C.: Elevation of conjugated cis-9,trans-11-octadecadienoic acid in bovine milk because of dietary supplementation. *J.Dairy Sci.* 81, 3259-3267 (1998)
- LeBlay G., Michel C., Blottiere H.M., Cherbut C.: Prolonged intake of fructo-oligosaccharides induces a short-term elevation of lactic acid-producing bacteria and a persistent increase in cecal butyrate in rats. *J.Nutr.* 129, 2231-2235 (1999)
- Legrand P., Rioux V.: De l'acide myristique à la myristoylation des protéines. *Cholé-Doc* 1-4 (59) (2000)

- MacDonald H.B.: Conjugated linoleic acid and disease prevention: A review of current knowledge. *J.Amer.Coll.Nutr.* 19, 111S-118S (2000)
- Mariaca R.G., Berger T.F.H., Gauch R., Imhof M.I., Jeangros B., Bosset J.O.: Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *J.Agric.Food Chem.* 45, 4423-4434 (1997)
- Park Y., Storkson J.M., Albright K.J., Liu W., Pariza M.W.: Evidence that the trans-10,cis-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. *Lipids* 34, 235-241 (1999)
- Parodi, P.W.: Conjugated Linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J.Dairy Sci.* 82, 1339-1349 (1999)
- Petschow B.W., Batema R.P., Ford L.L.: Susceptibility of *Helicobacter pylori* to bactericidal properties of medium-chain monoglycerides and free fatty acids. *Antimicrob.Agents Chemother.* 40, 302-306 (1996)
- Pollmer U., Warmuth S.: Lexikon der populären Ernährungssirrtümer. Missverständnisse, Fehlinterpretationen und Halbwahrheiten. Eichborn Verlag, Frankfurt a. Main (2000)
- Precht D., Molkentin J.: Analysis and seasonal variation of conjugated linoleic acid and further cis-/trans-isomers of C18:1 and C18:2 in bovine milk fat. *Kieler Milchwirt. Forschungsber.* 51, 63-78 (1999)
- Ravnskov U.: The questionable role of saturated and polyunsaturated fatty acids in cardiovascular disease. *J.Clin.Epidemiol.* 51, 443-460 (1998)
- Ravnskov U.: The cholesterol myths exposing the fallacy that saturated fat and cholesterol cause heart disease. *New Trends Publ.*, Washington (2000)
- Rose-Sallin C., Bosset J.O., Sieber R., Tabacchi R.: Oxicholesterine in Milchprodukten. *Agrarforschung* 3, 365-368 (1996)
- Schmelz E.M., Sullards M.C., Dillehay D.L., Merrill A.H.: Colonic cell proliferation and aberrant crypt foci formation are inhibited by dairy glycosphingolipids in 1,2-dimethylhydrazine-treated CF1 mice. *J.Nutr.* 130, 522-527 (2000)
- Sieber R.: Konjugierte Linolsäure in Lebensmitteln: eine Übersicht. *Ernährung* 19, 265-270 (1995)
- Sieber R., Badertscher R., Bütikofer U., Collomb M., Eyer H., Nick B.: Beitrag zur Kenntnis der Zusammensetzung von schweizerischer Butter. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 89, 84-96 (1998)
- Smith J.G., Yokoyama W.H., German J.B.: Butyric acid from the diet: Actions at the level of gene expression. *Crit.Rev.Food Sci.Nutr.* 38, 259-297 (1998)
- Sprong R.C., Hulstein M.F., van der Meer R.: High intake of milk fat inhibits intestinal colonization of *Listeria* but not of *Salmonella* in rats. *J.Nutr.* 129, 1382-1389 (1999)
- van den Berg J.J.M., Cook N.E., Tribble D.L.: Reinvestigation of the antioxidant properties of conjugated linoleic acid. *Lipids* 30, 599-605 (1995)
- van der Meer R., Lapre J.A., Govers M.J.A.P., Kleibeuker J.H.: Mechanisms of the intestinal effects of dietary fats and milk products on colon carcinogenesis. *Cancer Lett.* 114, 75-83 (1997)
- Vesper H., Schmelz E.-M., Nikolova-Karakashian M.N., Dillehay D.L., Lynch D.V., Merrill A.H.: Sphingolipids in food and the emerging importance of sphingolipids to nutrition. *J. Nutr.* 129, 1239-1250 (1999)
- Watkins S.M., Carter L.C., Mak J., Tsau J., Yamamoto S., German J.B.: Butyric acid and tributyrin induce apoptosis in human hepatic tumour cells. *J.Dairy Res.* 66, 559-567 (1999)