HAL
open science

Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré

Philippe Schmidely, Daniel Sauvant

To cite this version:

Philippe Schmidely, Daniel Sauvant. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré. Productions Animales, 2001, 14 (5), pp.337-354. hal-02682977

HAL Id: hal-02682977

https://hal.inrae.fr/hal-02682977

Submitted on 1 Jun 2020

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

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

INRA Prod. Anim.,
2001, 14 (5), 337-354

P. SCHMIDELY, D. SAUVANT

INRA-INAPG, UMR Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05

Courriel : schmidel@inapg.inra.fr

Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré

Le lait des petits ruminants laitiers est principalement valorisé par la transformation fromagère. Maîtriser la teneur en matière grasse du lait de ces espèces et sa composition en acides gras est donc particulièrement important puisque ces deux facteurs influencent pour partie la typicité des fromages. De plus, certains de ces acides gras ont des effets potentiellement favorables sur la santé humaine.

Résumé

Une base de données sur les effets de l'apport d'aliment concentré ou de matières grasses a été constituée pour quantifier la réponse du taux butyreux et de la composition en acides gras du lait chez les petits ruminants. L'apport d'aliment concentré réduit le taux butyreux, de façon plus marquée en ration complète qu'en ration fourrage - concentré séparés. Dans ce dernier type de ration, la réponse de la matière grasse du lait est curvilinéaire, un ratio fourrage concentré 1:1 maximisant la matière grasse produite. Dans ces conditions, les proportions des AG courts et moyens du lait sont peu ou pas modifiées, celles des AG longs saturés et mono-insaturés de type *cis* sont fortement réduites au profit des formes mono-insaturées *trans* et de l'acide linoléique. L'apport de matières grasses non protégées augmente généralement le taux butyreux et la matière grasse produite, de façon comparable pour les matières grasses animales ou végétales. Avec des huiles végétales ou animales, ces réponses sont très variables en fonction de l'intensité des effets dépresseurs de ces matières grasses sur la synthèse des acides gras courts et moyens, et de l'accroissement des acides gras longs. Les teneurs en acide linoléique, linolénique et CLA du lait sont accrues par les graines ou l'huile de colza, mais de façon modeste. Les huiles de poisson non protégées n'accroissent que faiblement les teneurs en acides gras poly-insaturés du lait. L'utilisation de savons de calcium (huile de palme principalement) accroît le taux butyreux de façon plus marquée chez les brebis que chez les chèvres, alors que l'accroissement de la matière grasse est comparable entre les deux espèces pour des apports jusqu'à 150 g/j. Ils réduisent la teneur du lait en AG moyens, mais pas celle des acides gras courts, ni celle de l'acide palmitique ; inversement ils induisent une forte augmentation de la teneur en acide stéarique et surtout oléique. La protection de graines ou d'huile de poisson par encapsulation permet de limiter l'effet dépresseur observé sur les acides gras courts et moyens, avec une réduction de l'acide stéarique et oléique au profit des formes *trans* de cet acide. Dans ces conditions, le transfert des acides linoléique et linolénique est accru en fonction de la richesse des graines pour ces acides gras. Cette forme de protection constitue un moyen modérément efficace de transférer vers le lait les acides gras polyinsaturés des huiles de poisson, ou des CLA alimentaires. L'ensemble de ces résultats fait apparaître un manque de données expérimentales chez les petits ruminants sur les facteurs alimentaires permettant de maîtriser la composition de la MG du lait, en particulier en ce qui concerne les acides gras jouant un rôle potentiel sur la santé humaine.

La maîtrise de la teneur en matières grasses (MG) du lait et de la composition en acides gras (AG) de ces MG résulte de considérations techniques, qualitatives et sanitaires. La composition en AG influence notamment les propriétés technologiques des MG par leur point de fusion qui résulte d'une combinaison de facteurs impliquant la longueur des AG, leur degré de saturation, et leur isomérie géométrique (liaisons *cis* ou *trans*). Elle influence aussi les propriétés organoleptiques des produits laitiers par les variations des proportions d'AG courts et par l'oxydation des différents AG. Enfin, les recommandations alimentaires actuelles montrent la nécessaire diminution de la consommation humaine de MG animales et de certains AG saturés (en particulier C12:0, C14:0 et C16:0) et le contrôle de celle des AG *trans* (Wolff 1994) afin de réduire la fréquence des maladies cardio-vasculaires. Simultanément, l'accroissement de la consommation d'AG poly-insaturés (AGPI), du ratio n-3/n-6 de ces AGPI, ainsi que des proportions de certains isomères conjugués (CLA) de l'acide linoléique (C18:2) permettrait de stimuler les réponses immunitaires, de réduire la fréquence des maladies cardio-vasculaires et de certains cancers (Parodi 1999, Spector 1999).

Rappelons que les MG du lait ont deux origines chez les ruminants. La première voie (environ 50 % en moles et 60 % en poids des AG sécrétés dans le lait) correspond à la captation mammaire d'acides gras préformés de 12 à 22 atomes de carbone prélevés dans le plasma soit à partir des lipoprotéines issues

de l'absorption intestinale des lipides (alimentaires ou issus des synthèses ruminales), soit à partir des acides gras non estérifiés provenant de la mobilisation des lipides corporels. La bio-hydrogénation des lipides alimentaires dans le rumen et la composition des lipides corporels mobilisés conduisent à retrouver peu d'AGPI dans les lipides des ruminants. La seconde voie (50 % en moles et 40 % en poids des AG sécrétés) est une synthèse intra-mammaire (AG de 4 à 16 atomes de carbone) à partir de l'acétate ruminal ou du β-hydroxybutyrate provenant du métabolisme du butyrate par l'épithélium ruminal. Enfin il faut noter que la présence d'une Δ9 désaturase intestinale et mammaire active sur les AG saturés longs et moyens (mais pas sur les AG courts) est à l'origine de la désaturation de certains AG longs (par exemple l'acide stéarique C18:0 en acide oléique C18:1) ainsi que de la production principale de CLA à partir de l'acide *trans* vaccénique (C18:1 trans-11) formé dans le rumen (Grinarii et Bauman 1999). Ces différentes voies du métabolisme lipidique ont fait l'objet de revues récentes concernant le rumen (Tamminga et Doreau 1991), la glande mammaire (Chilliard *et al* 2000), ou le tissu adipeux (Chilliard 1999).

Chez les bovins, les facteurs impliqués dans le contrôle nutritionnel de la composition en AG de la matière grasse du lait commencent à être connus qualitativement et quantitativement (Chilliard *et al* 2000 et 2001). Chez les ovins, les effets de l'alimentation sur la composition du lait ont récemment fait l'objet d'un article dans cette même revue (Bocquier et Caja 2001). L'objet de cet article est de présenter l'état des connaissances chez la chèvre et la brebis concernant la réponse du taux butyreux, de la MG produite et de la composition en AG du lait aux variations des apports alimentaires, en se focalisant sur les effets de l'apport de concentré et de l'apport de MG alimentaires.

1 / Caractéristiques de la base de données

1.1 / Sélection des publications

Une base de données a été constituée dans une première étape à partir de publications scientifiques (depuis 1975) rapportant la composition du lait et/ou celle de la MG du lait de chèvre ou de brebis avec un facteur expérimental contrôlé. Ce facteur a été soit la quantité de concentré pour des rations à base de fourrages et de concentrés distribués séparément, soit le pourcentage de concentré en rations complètes, soit l'apport de matières grasses alimentaires. Les principales caractéristiques des rations et des performances des animaux de cette base de données figurent au tableau 1. Dans un second temps, du fait du faible nombre de profils d'AG du lait disponibles et afin d'étudier les relations entre les AG de la matière grasse du lait, la base a été étendue aux lots témoins des publications rapportant la composition en AG du lait en relation avec l'étude des effets de la somatotropine (Disenhaus *et al* 1995, Chadio *et al* 2000), du type de fourrages (Sanz-Sampelayo *et al* 1998), du type de pâturage (Brendehaug et Abrahamsen 1986), de l'apport d'acides aminés (Sevi *et al* 1998) ou de levures (Giger-Reverdin *et al* 1996), ou de la nature du concentré (Schmidely *et al* 1999).

Il faut noter que les données concernant les effets de l'apport de concentré ou du pourcentage de concentré (tableau 1) sont obtenues exclusivement avec des chèvres pour des essais initiés plutôt en début de lactation, avec des rations dont les proportions de fourrage et de concentré sont voisines. Par ailleurs, les essais en rations complètes ont été conduits avec des niveaux d'ingestion plus élevés et des teneurs en ADF plus basses que les rations séparées dont près de la moitié comportait du pâturage.

Les MG étaient apportées sous quatre formes différentes:

- MG protégées de la dégradation ruminale après estérification sous forme de savons de calcium (SC), à base de palme principalement, ou après encapsulation dans une matrice protéique traitée au formaldéhyde pour des huiles de poisson, des mélanges de CLA, ou des graines de colza ou de coton. La protection des MG par cristallisation, peu étudiée chez les petits ruminants n'a pas été considérée ici ;
- MG non protégées, sous forme d'huile de colza ou de soja, de co-produits de l'extraction de l'huile d'olive, ou d'huile de poisson ;
- graines de colza, de coton, de tournesol ou de soja, extrudées ou non ;
- graisses animales non protégées, de source très variable.

Les quantités brutes de MG apportées ont été de 52 ± 39, 70 ± 33, et 62 ± 60 g/j pour les huiles, les graines, et les graisses animales respectivement. Pour les matières grasses protégées, les apports quotidiens de SC ont été similaires chez les brebis et les chèvres (151 ± 74 *vs* 134 ± 72 g/j, respectivement); les MG encapsulées (64 ± 28 g/j) n'ont été utilisées que chez les chèvres dans cette base de données, à l'exception d'un essai sur brebis (Wilkinson *et al* 2000).

1.2 / Traitement de la base de données

Les données (peu nombreuses) concernant les MG non protégées ou celles protégées par encapsulation ont été traitées exclusivement par l'étude des moyennes inter-essais des différences entre lots expérimentaux et lots témoins (test t de Student), en regroupant les données obtenues sur chèvres et celles sur brebis. Dans le cas des SC, le nombre de comparaisons expérimentales a permis de séparer l'étude de leurs effets sur le taux butyreux et les AG du lait en fonction de l'espèce animale. Pour chaque espèce, la base de données a été analysée dans un premier temps par analyse de variance au travers d'un méta-dispositif expérimental constitué d'un facteur expérimental (Témoin *vs* SC, 1ddl) croisé avec un facteur bloc (expériences) afin de dégager l'effet moyen de l'apport de SC. Certaines composantes de la variabilité de la réponse animale, en particulier le niveau d'apport de

Tableau 1. *Caractéristiques des rations et des animaux de la base de données en fonction du facteur expérimental étudié* [1].

Facteur expérimental	Apport (pourcentage) de concentré		Apport de MG alimentaires	
Espèce	Chèvre	Chèvre	Brebis	Chèvre
Type de rations	Ration complète	Fourrages + Concentrés		
Stade (j / mise-bas)	35 ± 60 (5)	42 ± 30 (16)	27 ± 27 (17)	85 ± 50 (15)
Durée de l'essai (j)	35 ± 10 (5)	84 ± 66 (13)	45 ± 25 (19)	73 ± 56 (18)
Ingestion (g MSI/j)	2558 ± 352 (7)	1973 ± 688 (15)	2136 ± 345 (16)	2479 ± 589 (21)
Concentré (g MSI/j)	-	809 ± 386 (22)	913 ± 313 (15)	1275 ± 575 (20)
Concentré (% MSI)	57 ± 11 (9)	43 ± 20 (14)	44 ± 13 (14)	51 ± 17 (24)
ADF (% MSI)	14,2 ± 1,4 (3)	25,9 ± 6,4 (3)	19,5 ± 9,5 (5)	18,5 ± 5,6 (5)
Extrait éthéré (% MS)	2,1 ± 0,6 (2)	3,6 ± 1,7 (3)	2,3 ± 0,3 (13)	2,1 ± 1,1 (10)
Protéines brutes (% MS)	16,7 ± 0,9 (7)	16,4 ± 1,9 (9)	13,8 ± 1,9 (14)	16,4 ± 2,2 (13)
Lait brut (g/j)	3438 ± 987 (9)	2352 ± 1,038 (25)	1661 ± 877 (17)	2928 ± 775 (19)
TB (g/kg)	36,2 ± 10,7 (9)	38,2 ± 8,5 (18)	69,1 ± 17,2 (19)	37,1 ± 6,7 (19)
TP (g/kg)	31,2 ± 1,9 (9)	31,4 ± 4,2 (20)	56,3 ± 6,3 (15)	31,5 ± 4,4 (21)
MG (g/j)	130 ± 64 (9)	77 ± 32 (18)	115 ± 72 (17)	106 ± 30 (19)
MP (g/j)	108 ± 31 (9)	65 ± 28 (20)	70 ± 22 (13)	92 ± 23 (19)

[1] MS = matière sèche de la ration, MSI = matière sèche ingérée, ADF = acid détergent fiber, TB = taux butyreux, TP = taux protéique, MG = matières grasses, MP = matières protéiques. Les données sont présentées par moyenne ± écart type, (n) = nombre de lots témoins.

SC, le stade physiologique, ou la composition de la ration ont été étudiées par analyse de covariance, en considérant ces facteurs comme covariable du modèle d'analyse.

Dans le cas de l'apport de concentré, les données en ration complète et en ration séparée ont été analysées par analyse de variance - covariance avec un facteur bloc (expérience) et le pourcentage de concentré comme covariable. Par ailleurs, les variations du taux butyreux et des AG du lait pour les rations séparées ont été analysées avec la quantité de concentré ingéré comme covariable, afin de ne pas éliminer les données obtenues au pâturage pour lesquelles les niveaux d'ingestion de fourrage ne sont pas connus.

2 / Influence des apports alimentaires sur le taux butyreux et la production de matières grasses

2.1 / Apport de concentré chez la chèvre

Les effets de l'apport de concentré sur la matière sèche ingérée, la production laitière brute et la composition du lait (taux butyreux : TB et protéique : TP) chez la chèvre ont déjà été présentés à partir d'une base de données contenant un plus petit nombre d'expérimentations (Sauvant et Morand-Fehr 2000). Nous ne présenterons ici que les données concernant les effets de l'apport de concentré sur le TB et la MG en relation avec la composition en AG.

L'accroissement du pourcentage de concentré (Conc%) dans la ration complète (de 20 à 70 % de concentré /.MS, figure 1) ou en ration séparée (de 15 à 100 % de concentré) réduit linéairement le TB (g/kg) selon les relations (intra-expérimentation):

Rations complètes : TB = 44,6 – 0,128 x Conc%
R = 0,98, ETR = 2,1 g/kg, n = 24, nexp = 9
Rations séparées: TB = 35,7 – 0,050 x Conc%
R = 0,97, ETR =1,7 g/kg, n = 29, nexp = 12

indiquant une plus faible chute du TB lors de l'apport de concentré dans le cas des rations séparées comparativement aux rations complètes, probablement attribuable aux différences de teneur en ADF entre rations, et, plus marginalement, au stade moyen de lactation, du fait des différences de durées d'essai entre ces deux types de rations.

Dans la plage considérée des apports de concentrés (de 0,2 à 2,2 kg MS/j), la réponse du TB en rations séparées est linéaire :

TB = 39,5 – 2,52 x MSIConc
R = 0,98, ETR = 1,9 g/kg , n = 42, nexp = 16

et celle de la MG produite est curvilinéaire :

MG = 54,6 + 34,0 x MSIConc – 9,64 x $MSIConc^2$
R = 0,97, ETR = 9,2 g/j, n = 42, nexp = 17

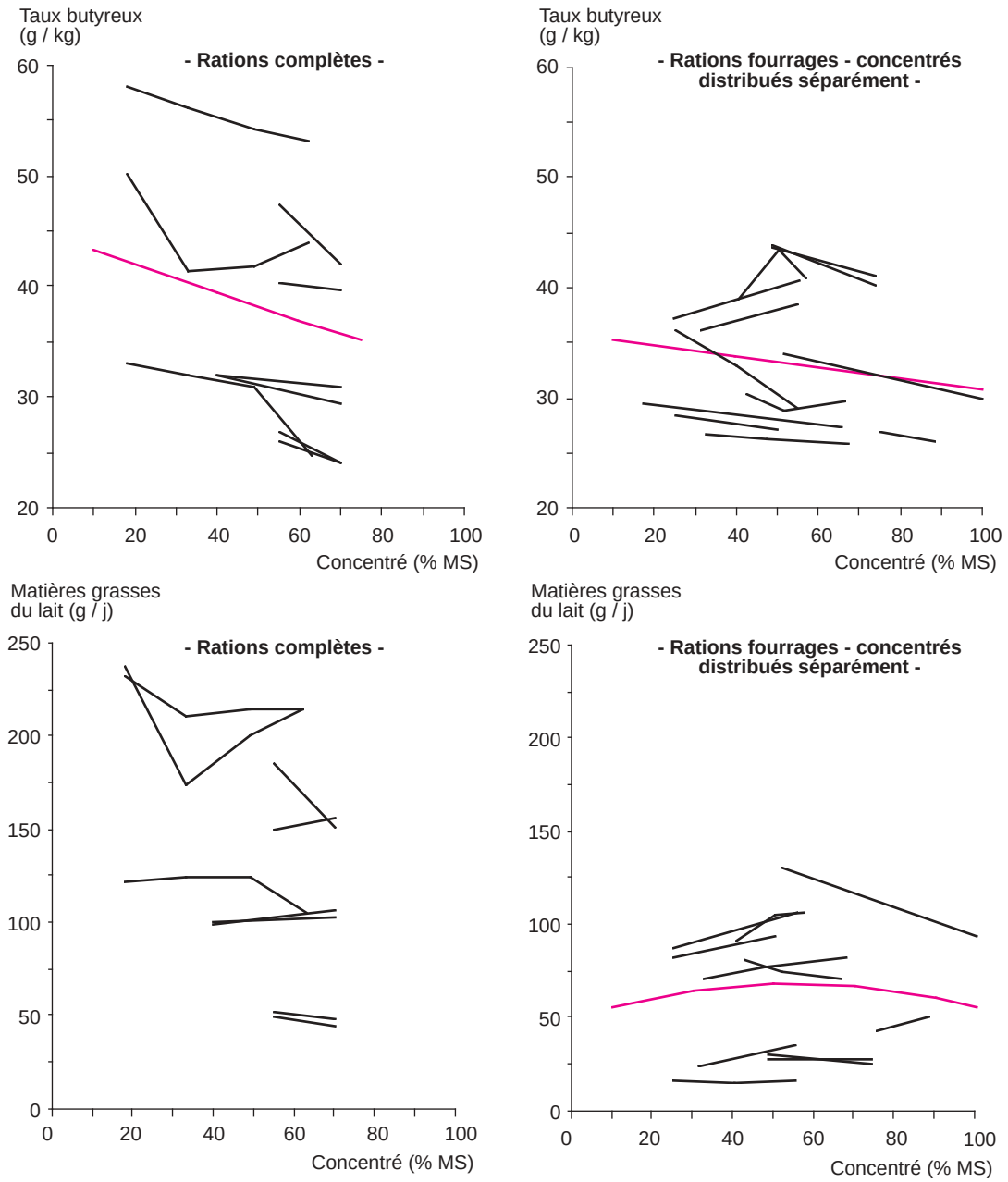
reflétant la chute du TB et l'effet quadratique de l'apport de concentré sur la production laitière. Ces résultats et ceux de Sauvant et Morand-Fehr (2000) montrent qu'un apport marginal de 0,1 kg de concentré n'induit de réponse ni de la production laitière ni de la MG quand l'apport de concentré avoisine 2,0 et 1,7 kg MS/j, respectivement. Exprimée en terme de pourcentage de concentré (figure 1), il est possible de déduire de la relation :

MG = 49,3 + 0,697 x Conc% – 0,0063 x $Conc\%^2$
R = 0,96, ETR = 9,4 g/j, n = 30, nexp = 11

qu'il est souhaitable de ne pas dépasser 55 % de concentré dans une ration séparée afin ne pas pénaliser la production de MG dans le lait de chèvre. Une telle préconisation n'a pas pu être mise en évidence en ration complète (figure 1) probablement du fait de l'accroissement linéaire de la production laitière en réponse au pourcentage de concentré dans cette base de données.

Figure 1. *Effets de la proportion de concentré dans la ration sur le taux butyreux et la matière grasse du lait chez la chèvre laitière alimentée en rations complètes ou avec des rations fourrages - concentrés distribués séparément.*

Les traits rouges indiquent les relations intra-expérimentation (cf texte). Rations complètes : Santini et al *1991, 1992, Abijaoude 1999, Ledoux* et al *2001. Fourrage - concentré séparés : Sauvant* et al *1977, Calderon* et al *1984, Mowlem* et al *1985, El-Gallad* et al *1988, Eik 1991; Eik* et al *1991, Kawas* et al *1991, Landau* et al *1993, El Badawi* et al *1994, Bailoni et Andrighetto 1995, Rubino* et al *1995, Eknaes* et al*1998.*



2.2 / Apport de matières grasses

a / Objectifs de la supplémentation en matières grasses

La supplémentation en MG de la ration des petits ruminants est utilisée pour répondre à plusieurs objectifs. Le premier objectif est d'augmenter la densité énergétique des rations, en particulier en début de lactation (Brown-Crowder *et al* 1997) pour éventuellement réduire l'intensité du déficit énergétique durant cette période. Un autre objectif est d'accroître le TB en relation avec le mode de paiement du lait, l'apport de MG alimentaires constituant le moyen le plus rapide de modifier le TB. Ceci se retrouve particulièrement dans le cas d'animaux en début de lactation, pour lesquels des TB faibles sont observés (Casals *et al* 1999), ou dans le cas d'apports importants d'aliment concentré (Calderon *et al* 1984). L'apport de MG permet également de réduire en partie la fréquence et l'intensité des inversions entre TP et TB observées chez les chèvres en milieu de lactation (Rousselot *et al* 1995, Schmidely *et al* 2001). Enfin, l'apport de MG permet de modifier la composition en AG du lait, soit par transfert direct de certains AG issus de MG protégées (Gulati *et al* 2000), soit après bio-hydrogénation de certains AG par les microorganismes du rumen.

b / Les matières grasses non protégées

Après apport de MG non protégées dans la ration, une augmentation du TB est observée dans la majorité des essais (13 essais sur 15, dont 12 de façon significative, tableau 2) sauf lors d'apport iso-lipidique de graines de lin en substitution des SC de la ration (Wilkinson *et al* 2000) ou d'apport d'huile de soja (Zervas *et al* 1998 ; cf. ci-dessous). Ces réponses apparaissent donc supérieures à celles observées chez les vaches, l'accroissement du TB n'y étant observable que dans 50 % des essais (Morand-Fehr et al 1986).

Chez la chèvre, l'effet positif des MG sur le TB est statistiquement significatif et de même amplitude pour les graisses animales (+5,2 g/kg en moyenne) et pour les matières premières et les huiles non protégées (+5,9 g/kg), les graines entières ou extrudées induisant une réponse un peu plus faible (3,7 g/kg). En revanche chez la brebis, l'apport de graines non protégées induit une forte réponse du TB (+16,6 g/kg). De telles différences inter-espèces ont également été rapportées lors d'apport de co-produits de matières premières riches en huile (Hadjipanayiotou 1999).

Avec des huiles non protégées, les réponses sont très variables : si des accroissements du TB à des apports croissants d'huile de colza ont été rapportés (Mir *et al* 1999), l'absence de modification significative avec de l'huile de poisson (Kitessa *et al* 2001b) voire de fortes réductions du TB avec de l'huile de soja (Zervas *et al* 1998) ont également été observées. Ces différences sont probablement attribuables d'une part, à l'effet plus ou moins marqué de l'apport d'huile (en fonction de son degré d'insaturation) sur la production laitière (effet de dilution) en relation avec son effet dépresseur sur l'ingestion et la digestion ruminale (Kitessa *et al* 2001a,b), et d'autre part à l'intensité de la réduction de la synthèse des AG courts et moyens du lait en réponse à l'apport de ces MG. Par ailleurs, ces données diffèrent de celles obtenues sur vaches laitières (Chilliard *et al* 2001), en particulier pour l'huile de poisson connue pour réduire le TB, même pour de faibles apports d'huile, ce qui indique une variation inter-espèces importante.

De façon générale, la production de MG présente des variations identiques à celles observées pour le TB (tableau 2). Ce phénomène est particulièrement vrai pour les graines et les graisses animales, dans la mesure où leurs effets sur la production laitière brute sont non significatifs dans cette base de données (graines: +80 ± 360 g/j, NS; graisses animales: -30 ± 230 g/j, NS), de façon iden-

Tableau 2. *Effets moyens de l'apport de matières grasses non protégées sur le taux butyreux (TB) du lait et production quotidienne de matières grasses (MG) chez les chèvres et les brebis laitières.*

Référence	Espèce	Matières grasses apportées (g/j)	Stade de lactation	Variation de MG ingérées (g/j)	Extrait éthéré des rations Témoin	Extrait éthéré des rations Traité	TB témoin (g/kg)	Variation du TB (g/kg)	Variation de MG (g /j) [4]
Matières premières, huiles végétales ou de poisson non protégées									
Hadjipanayiotou 1999	Brebis	Ensilage de pulpe d'olive	Milieu	33	1,9	3,3	48	5,8 (S)	16 (NI)
Zervas *et al* 1998	Brebis	Huile de soja	-	60	2,5	5,7	83	-13 (S)	5 (S)
	Global [1]							**-3,6 ± 13,3 (NS)**	**10 ± 8 (NS)**
Hadjipanayiotou 1999	Chèvre	Ensilage de pulpe d'olive	Milieu	32	1,9	3,1	40	3,1 (†)	4 (NI)
Kitessa *et al* 2001b	Chèvre	Huile de poisson	Milieu	-	4,0	6,9	42	1,8 (NS)	-16 (S)
Mir *et al* 1999	Chèvre	Huile de colza	Fin	40 / 60 / 80	.	.	45	4,0 / 9,2 / 11,2 (S)	12 / 31 / 32 (NI)
	Global [1]							**5,9 ± 4,1 (S)**	**13 ± 20 (NS)**
Graines entières ou extrudées									
Osuna *et al* 1998	Brebis	Graines de coton	Milieu	100	2,5	7,0	68	20,8 (S)	24 (S)
Osuna *et al* 1998	Brebis	Graines de tournesol	Milieu	100	2,5	7,0	68	12,4 (S)	15 (NS)
	Global [1]							**16,6 ± 5,9 (†)**	**20 ± 6 (†)**
Daccord 1987	Chèvre	Graines de soja extrudées	Début	20	.	.	28	4,5 (S)	2 (NS)
Schmidely *et al* 2001 [2]	Chèvre	Graines de soja extrudées	Milieu	43 / 99	1,1	3,0 / 5,0	34	1,7 / 1,6 (S)	21 / 25 (S)
Schmidely *et al* 2001 [3]	Chèvre	Graines de soja extrudées	Milieu	47 / 97	1,1	3,0 / 5,0	36	4,0 / 6,8 (S)	7 / 13 (S)
	Global [1]							**3,7 ± 2,2 (S)**	**14 ± 9 (S)**
Wilkinson *et al* 2000 [5]	Brebis	Graine de lin	Milieu	-30	6,4	6,4	46	-7,6 (S)	-24 (NI)
Graisses animales									
Daccord 1985	Chèvre	Graisses animales	.	.	.		.	+ (S)	+ (S)
Daccord 1987	Chèvre	Graisses animales	Début	20	.		28	3,7 (S)	18 (S)
Morand-Fehr *et al* 1987	Chèvre	Suif	Début	.	.		39	4,8 (S)	5 (NS)
Lu 1993	Chèvre	Graisses jaunes	Début	105	2,9	7,5	31	7,0 (S)	9 (NI)
	Global [1]							**5,2 ± 1,7 (S)**	**11 ± 7 (†)**

[1] Données exprimées par moyenne (± écart type) inter-essais des différences entre lots supplémentés et lots témoins. NS, S, ou † = différence non significative, significative (P< 0,05 au moins), ou P < 0,10 entre lots supplémentés et lots témoins. NI = niveau de différence statistique non indiqué.
[2] Schmidely *et al* (2001) : apport de graines de soja à raison de 0 *vs* 10 *vs* 20 % de la MS de la ration (moyenne des TB déterminés 4 et 8 semaines après le début de l'introduction des aliments expérimentaux).
[3] Schmidely *et al* (2001) : idem [2] avec 0 *vs* 2% de bicarbonate de Ca dans la ration.
[4] En l'absence de données rapportées dans les publications, la production de MG a été calculée par MG = Production laitière x TB. La signification statistique intra-essai a été alors notée (NI).
[5] Les données de Wilkinson *et al* (2000) ont été traitées séparément du fait des caractéristiques de la ration témoin enrichie en savons de calcium, et de la forte réduction de l'ingestion consécutive à l'apport de graines de lin.

tique à ce qui est observé chez les vaches laitières (Morand-Fehr *et al* 1986). Chez la chèvre, la production de MG est accrue en moyenne de 14 ± 9 (P < 0,05) et de 11 ± 7 g/j (P < 0,10) pour les graines et les graisses animales respectivement, avec un effet linéaire de la quantité de MG apportées sous forme de graines de soja, en particulier lorsque la ration n'est pas supplémentée en bicarbonate (Schmidely *et al* 2001). Chez la brebis, la réponse de la MG produite à l'apport de graines (20 ± 6 g/j, P < 0,07) est proche de celle obtenue chez la chèvre.

Pour les huiles non protégées, la production de MG (tableau 2) est accrue de façon non significative chez la chèvre ou la brebis. Chez la chèvre, cet absence d'effet global est essentiellement dû aux résultats rapportés par Kitessa *et al* (2001a) pour lesquels l'apport d'huile de poisson a fortement réduit la production laitière du fait de son effet inhibiteur sur l'ingestion, sans modification associée du TB. Pour les autres essais sur brebis ou sur chèvre, la production de MG est faiblement augmentée à l'exception des données de Mir *et al* (1999) qui montrent un accroissement de la MG de façon linéaire pour des apports d'huile de colza jusqu'à 60 g/j.

c / Les matières grasses protégées

Les savons de calcium

La réponse du TB à l'apport de SC (presque exclusivement à base d'huile de palme dans notre base de données) est très significative chez les petits ruminants (figure 2), à l'inverse des données obtenues sur vaches laitières pour lesquelles l'apport de SC ne modifie que faiblement le TB (Chilliard *et al* 1993). Elle apparaît plus marquée chez les brebis que chez les chèvres avec un accroissement moyen de 14,0 et 5,8 g/kg respectivement, bien qu'en variation relative ces augmentations soient de même ampleur : +13 % et +17 %. Cette réponse moyenne est par ailleurs très variable, puisque l'intervalle de confiance de la réponse du TB est [4,5 - 7,7] et [10,0 - 16,1] chez les chèvres et les brebis. L'ensemble de ces données confirme de façon quantitative les résultats rapportés par Chilliard et Bocquier (1993).

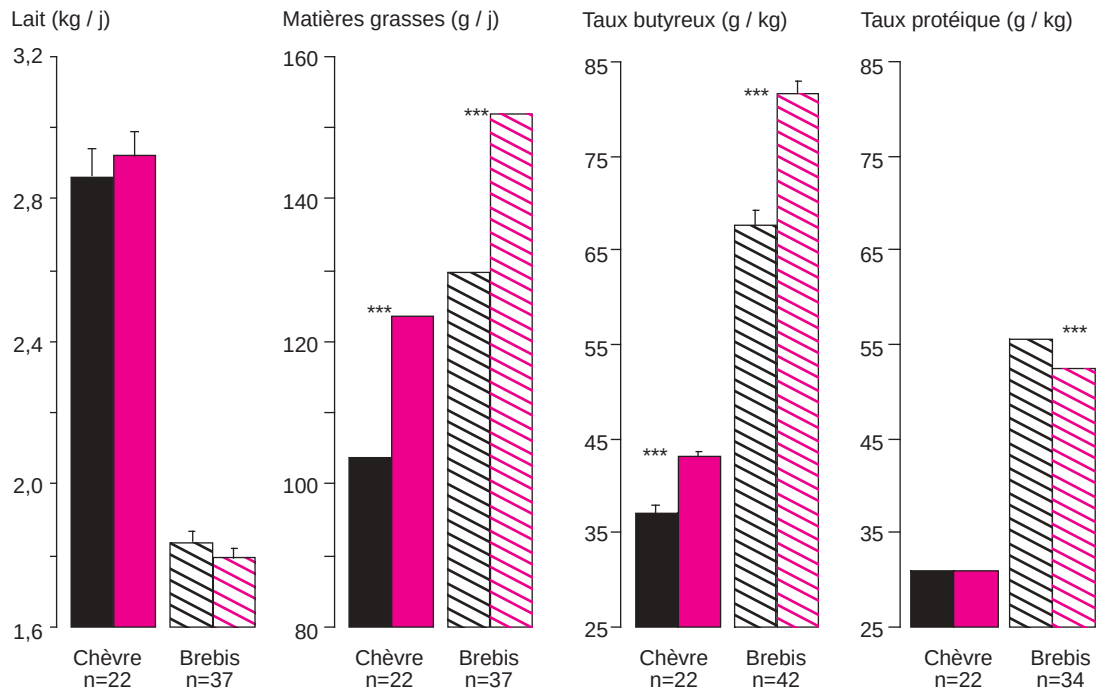
Une grande partie de la variabilité de la réponse du TB peut être reliée à la dose de SC utilisée (g/j) selon les relations intra-expérimentations (figure 3) :

Chèvre: TB = 34,1 + 0,037 x SC
R = 0,96, ETR = 1,6 g/kg , n = 17, nexp = 5,
Brebis: TB = 67,9 + 0,153 x SC – 0,00033 x SC^2
R = 0,96, ETR = 4,6 g/kg, n= 42, nexp = 11.

La réponse du TB est linéaire chez la chèvre et curvilinéaire chez la brebis : la réponse maximale chez la brebis (+25 g/kg, soit +30%) est ainsi atteinte dès l'apport de 100 et 150 g/j de SC. Ces valeurs sont un peu plus élevées que celles rapportées par Caja et Bocquier (1998) avec un nombre de données plus réduit, et qui situent les apports optimaux de SC entre 70 et 120 g/j en fonction du stade physiologique des brebis.

Dans cette base de données, les variations de la production laitière brute (figure 2) suite à l'apport de SC sont peu importantes : la réponse moyenne est de + 70 ± 280 g/j (NS) et

Figure 2. *Effets moyens de l'apport de savons de calcium sur la production laitière brute, la production de matières grasses, le taux butyreux et le taux protéique du lait de brebis et de chèvre.*
*n : nombre de lots. Données corrigées des effets expérience, *** = P < 0,001. Références : Morand-Fehr* et al *1986, Perez-Hernandez* et al *1986, Kovessi* et al *1987, Baldi* et al *1992, Casals* et al *1992, Horton* et al *1992, Teh* et al *1994, Rousselot* et al *1995, Brown-Crowder* et al *1997, Perez-Alba* et al *1997, Espinoza* et al *1998, Osuna* et al *1998, Perez* et al *1998, Rotunno* et al *1998, Casals* et al *1999, Martin* et al *1999.*



– 40 ± 190 g/j (NS) chez les chèvres et les brebis respectivement, ce qui est plus faible que les résultats obtenus sur vaches (Chilliard *et al* 1993), bien que la comparaison inter-espèces soit difficile à effectuer du fait de l'impossibilité de comparer les doses apportées. La réponse maximale en lait brut est de 150 g/j (soit +5 %) chez la chèvre, et de 40 g/j (soit +2 %) chez la brebis, ces réponses maximales étant obtenues pour un apport de 100 g SC/j (figure 3). Au-delà, les effets de l'apport de SC sont défavorables à la quantité de lait produite.

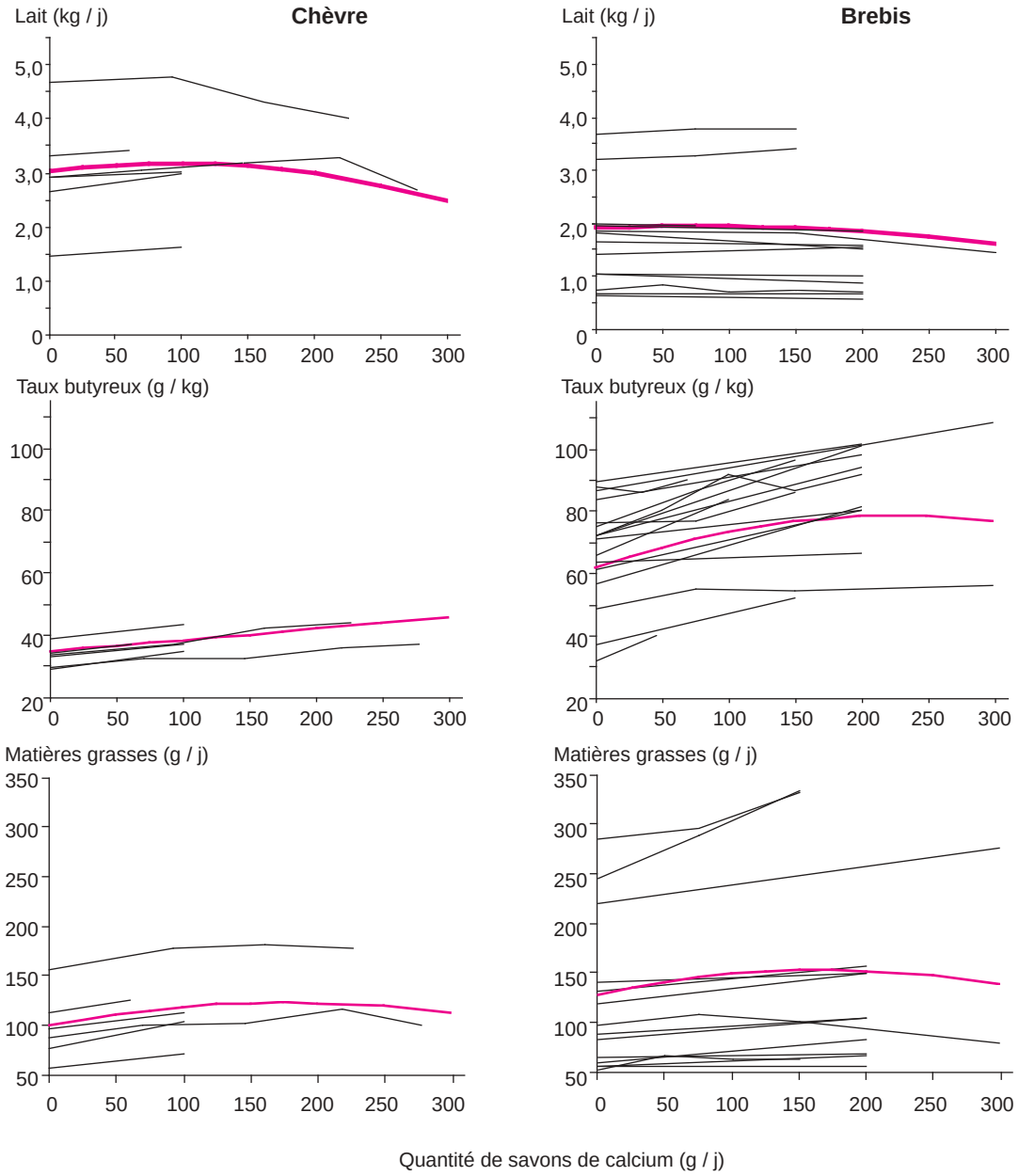
En conséquence, les variations de la MG du lait sont de nature quadratique :

Chèvres : $MG = 99{,}2 + 0{,}265 \times SC - 0{,}00073 \times SC^2$
$R = 0{,}98$, ETR = 6 g/j, n = 17, nexp = 5,
Brebis : $MG = 130{,}5 + 0{,}285 \times SC - 0{,}00084 \times SC^2$
$R = 0{,}98$, ETR = 15 g/j, n = 37, nexp = 12.

Ceci montre que la réponse maximale de la sécrétion de MG est quasiment identique chez les chèvres et les brebis, aux alentours de 25 g/j pour un apport de SC de 150 g/j de SC. Ces résultats ainsi que ceux concernant la production laitière et le TB montrent ainsi qu'il serait possible d'optimiser la quantité de SC apportée en fonction d'une part, du coût économique de ces matières premières et d'autre part des objectifs zootechniques souhaités, accroître la production laitière (SC < 100 g/j) ou le TB et la MG sécrétée (SC < 150 g/j).

Les écarts types résiduels des relations chez les chèvres et les brebis concernant la réponse du TB (ETR = 1,6 et 4,6 g/kg, soit 4,7 % et 6,7 % du TB des témoins, respectivement) ou de la MG (6 et 11 % de la MG des témoins, respectivement) sont faibles, indi-

Figure 3. *Effet du niveau d'apport de savons de calcium sur la production laitière brute, le taux butyreux et la production de matières grasses dans le lait de brebis et de chèvre.*
Les traits rouges indiquent les relations intra-expérimentation (cf texte). Références : Morand-Fehr et al *1986, Perez-Hernandez* et al*1986, Kovessi* et al*1987, Baldi* et al *1992, Casals* et al *1992, Horton* et al*1992, Teh* et al *1994, Rousselot* et al *1995, Brown-Crowder* et al*1997, Perez-Alba* et al *1997, Espinoza* et al *1998, Osuna* et al *1998, Perez* et al *1998, Rotunno* et al *1998, Casals* et al *1999, Martin* et al*1999.*



quant que ces réponses sont très largement conditionnées par la quantité de SC apportée. Cependant, ces réponses varient également en fonction de facteurs animaux (stade physiologique, niveau de production, TB avant supplémentation, race), et de facteurs alimentaires, parmi lesquels la teneur de la ration en extrait éthéré ou en fibres, et plus marginalement celle en MAT ont été identifiés (Morand-Fehr *et al* 1991, Caja et Bocquier 1998).

Dans cette base de données, la teneur en fibres (ADF) et celle en extrait éthéré (EE) de la ration témoin sont souvent non renseignées. Par ailleurs la plage de variation de la teneur en EE est très faible (tableau 2), ce qui ne permet pas d'analyser quantitativement son influence sur les réponses. Qualitativement, des rations contenant moins de 2 % de lipides dans la MS sont celles qui permettent les réponses du TB les plus importantes chez la chèvre, à condition de ne pas dépasser 6 à 7 % de la MS (Morand-Fehr *et al* 1991) du fait des effets négatifs sur les paramètres de la digestion ruminale (Tamminga et Doreau 1991, Sauvant et Bas 2001). De même, chez la brebis, les essais de Casals *et al* (1992 et 1999) effectués au pâturage (faible teneur en EE) sont ceux qui rapportent les plus fortes réponses du TB.

Par ailleurs, les effets d'interactions entre apport de SC et teneur en MAT de la ration d'une part, ou nature des protéines d'autre part sur la réponse du TB et de la MG fournissent des résultats contradictoires (Kovessy *et al* 1987, Espinoza *et al* 1998, Casals *et al* 1999).

L'effet du stade physiologique sur la réponse du TB et de la MG sécrétée à l'apport de SC est important, les réponses les plus marquées étant obtenues en début de lactation chez la brebis (Perez-Alba *et al* 1997, Casals *et al* 1999) ou au pic de lactation chez la chèvre (Teh *et al* 1994), tandis que les essais de milieu ou fin de lactation induisent des réponses faibles (Rotunno *et al* 1998). Ces réponses peuvent s'interpréter comme une meilleure efficacité du transfert des AG alimentaires vers la mamelle en début de lactation, et/ou une plus grande efficacité de leur transfert vers le tissu adipeux en milieu de lactation afin de reconstituer les réserves corporelles. Cependant, des essais en début de lactation ont également rapporté des réponses faibles (Perez-Hernandez *et al* 1986, Horton *et al* 1992, Perez-Alba *et al* 1997). Ainsi, dans notre base de données, l'interaction entre stade de lactation et quantité de SC sur le TB ou la MG est non significative chez la brebis (trop peu de données chez la chèvre). La variabilité de ces réponses peut être attribuée à différents facteurs comme le niveau de production laitière, le TB du lait des animaux témoins ou le bilan énergétique. Cependant, les réponses du TB et de la MG chez la brebis (insuffisance de données chez la chèvre) sont apparus indépendantes du TB ou de la MG du lait des animaux témoins (figure 3), ainsi que de la production laitière brute. Les compositions des rations et les caractéristiques des animaux (poids vif, variation de poids), souvent faiblement renseignées, n'ont pas permis de calculer le bilan énergétique des animaux sur un nombre suffisant d'essais. Cependant, en considérant les variations de poids ou les niveaux d'ingestion pour ces essais en début de lactation, les réponses les plus faibles du TB et de la MG sont obtenues lorsque les apports énergétiques sont les plus élevés (Perez-Hernandez *et al* 1986) ou lorsque les variations de poids sont les plus faibles (Horton *et al* 1992, Perez-Alba *et al* 1997). Ces résultats, couplés à la faible réponse en milieu de lactation, suggèrent que chez les brebis, le bilan énergétique module l'efficacité de l'utilisation des MG alimentaires, probablement via la modulation des activités respectives de la lipoprotéine lipase dans la mamelle et le tissu adipeux.

Les matières grasses encapsulées

La protection des MG de la biohydrogénation ruminale peut être aussi effectuée par leur encapsulation dans une matrice protéique (caséine) traitée au formaldéhyde avec pour objectif principal d'accroître le transfert des AGPI des matières premières dans la MG du lait et de prévenir leur effet négatif sur l'ingestion et la digestion. Cette technique, utilisée fréquemment chez les vaches laitières (Chilliard *et al* 1993), n'a été que peu pratiquée chez les petits ruminants. Elle concerne des huiles de poisson (Gulati *et al* 1999, Kitessa *et al* 2001b), des graines (Gulati *et al* 1997, Wilkinson *et al* 2000) ou des solutions de CLA (Gulati *et al* 2000). Ainsi, l'encapsulation prévient l'effet dépresseur de l'huile de poisson sur la MG produite chez la chèvre, sans accroître cependant le TB ou la MG comparativement à une ration témoin sans huile (Gulati *et al* 1999, Kitessa *et al* 2001b). En revanche, l'encapsulation de graines de lin ne permet pas de prévenir leur effet dépresseur sur le TB et la MG chez la brebis lorsque leur apport s'effectue en substitution isolipidique (6,4 % EE) de SC (Wilkinson *et al* 2000). Ces résultats limités en nombre diffèrent de ceux obtenus sur vaches pour lesquels un accroissement du TB avec des graisses encapsulées est très souvent observé, en particulier pour les graisses végétales (Chilliard *et al* 1993). Ceci peut s'expliquer par des différences de réponses entre espèces, ou de niveau de supplémentation lipidique ou de la protection de ces lipides.

3 / Effets des apports alimentaires sur la composition en acides gras du lait

3. 1 / Composition en acides gras

La caractérisation biochimique des lipides du lait chez la brebis ou la chèvre a déjà fait l'objet de revues (Morand-Fehr *et al* 1991, Chilliard et Bocquier 1993, Chilliard 1996). Nous n'en rappellerons donc ici que les principales caractéristiques, en référence aux résultats obtenus sur les lots d'animaux témoins de la base de données étendue décrite au chapitre 1. Aucune analyse statistique n'a été menée pour différencier les brebis des chèvres sur leur profil en AG compte tenu du nombre limité d'observations et surtout du déséquilibre entre les données obtenues sur les deux espèces (figure 4a et b, et tableau 3).

a / Acides gras saturés

Pour le lait de chèvre, notre base de données fournit un profil d'AG saturés similaire à celui obtenu par Alonso *et al* (1999) sur des laits de mélanges obtenus sur cinq troupeaux, avec une exception : la teneur en C8:0 dans la base de données (4,70 ± 2,53%) est près de 2 fois supérieure à celle obtenue par Alonso *et al* (1999).

Le profil des AG pairs saturés apparaît très similaire chez la chèvre et chez la brebis (figure 4a): C16:0 est le principal AG représenté (brebis: 23,2 ± 0,6, n = 4 ; chèvre: 30,6 ± 7,2, n = 18), suivis par C10:0, C14:0 et C18:0 dont les contributions individuelles sont d'environ 10 %. Les données suggèrent également des teneurs en C6:0 et C8:0 légèrement supérieures chez les chèvres et des teneurs en C4:0 et C12:0 plus faibles, ce qui peut laisser supposer l'existence de régulation légèrement différente de la synthèse mammaire des AG entre ces deux espèces. Par ailleurs, chez la chèvre, les AG longs représentés par la somme de C18:0 et C18:1 inhibent fortement la synthèse mammaire des AG moyens (C10:0 à C14:0) selon la relation globale (figure 4b) :

AG moyens (% AG totaux) = 36,4 – 0,35 x AG longs (% AG totaux)
R = 0,88, ETR = 1,67, n = 18.

De façon identique, la synthèse de C16:0 (analysé séparément du fait de sa double origine alimentaire et mammaire) est inhibée par les AG longs, et de façon plus marquée que celle des AG moyens :

C16:0 (% AG totaux) = 50,0 – 0,71 x AG longs (% AG totaux)
R = 0,80, ETR = 4,00, n = 16.

Aucune relation significative n'a pu être mise en évidence entre les AG courts saturés et la somme C18:0 + C18:1, ce qui apparaît logique compte tenu du fait que la synthèse de ces AG ne dépend pas de l'acétyl-Coa carboxylase qui est inhibée par les AG longs. L'ensemble de ces relations quantitatives inter-expérimentations confirme ainsi les relations obtenues sur des laits de chèvres individuels (Sauvant *et al* 1977, Chilliard 1996), et illustre les différences concernant d'une part les origines métaboliques des AG en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée, et d'autre part les régulations associées.

Enfin, les teneurs en AG longs saturés (C20:0 et C22:0) sont très faibles chez les petits ruminants comme chez les vaches laitières, du fait de l'impossibilité d'élongation des chaînes d'AG au-delà de C16 dans la glande mammaire, ce qui constitue probablement une des voies qui permet d'abaisser le point de fusion de ces MG en réponse à leur forte saturation.

b / Acides gras saturés impairs et ramifiés

Les AG impairs linéaires saturés (C11:0 à C15:0) de la MG du lait sont synthétisés dans la glande mammaire à partir de la condensation du propionate et du malonyl-CoA tandis que C17:0 résulte plutôt d'un prélèvement sanguin de cet AG issu de la synthèse bactérienne dans le rumen (Massart-Leën *et al* 1983). Ces AG présents en quantité non négligeable dans le lait de chèvre (2 % environ, tableau 3) sont essentiellement représentés par C15:0 et C17:0. Par ailleurs, des teneurs faibles (moins de 0,2 %) en C5:0 à C19:0 ont également été rapportées dans des laits de mélanges ou des fromages de chèvres (Wolff 1995, Alonso *et al* 1999).

Les AG ramifiés sont caractérisés par la substitution d'un hydrogène par un groupement méthyl principalement, ou plus rarement par un groupement éthyl. Les positions

Figure 4. *a/ Profil (g/100 g) des acides gras pairs saturés de la matière grasse du lait de brebis et de chèvre.*
b/ Relation entre les proportions des AG longs (C18:0 + C18:1) et les proportions des AG courts (C4+C6+C8) et moyens (C10+C12+C14) dans le lait de chèvre et de brebis.
Les lignes rouges représentent les relations globales entre AG chez les chèvres uniquement (cf texte). Références : Calderon et al *1984, Brandenhaug et Abrahamson, 1986, Baldi* et al *1992, Lu, 1993, Teh* et al *1994, Disenhaus* et al *1995, Giger-Reverdin* et al *1996, Perez-Alba* et al *1997, Rotunno* et al *1998, Sanz-sampelayo* et al *1998, Sevi* et al *1998, Martin* et al*1999, Chadio* et al *2000, Gulati* et al *2000, Wilkinson* et al *2000, Kitessa* et al *2001b, Ledoux* et al *2001, Schmidely* et al *2001.*

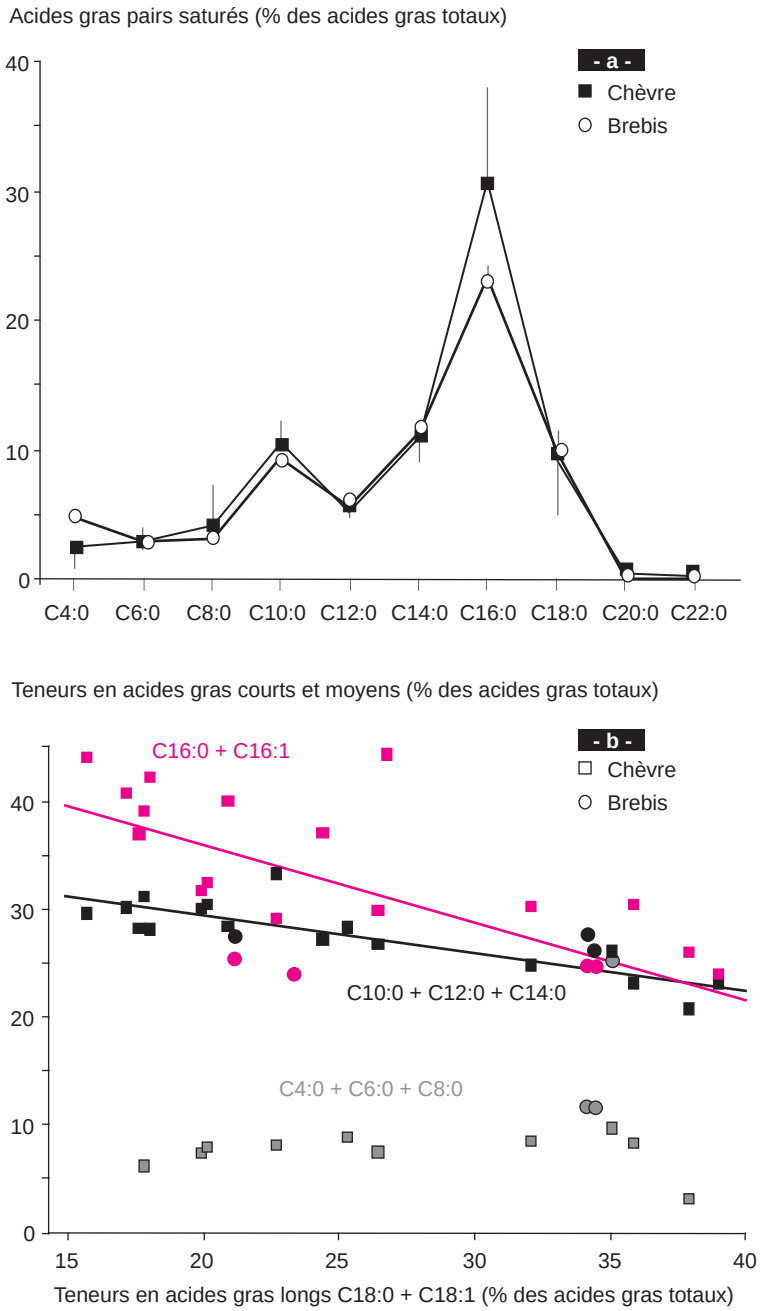


Tableau 3. *Profil (g/100 g AG) des acides gras mineurs de la matière grasse du lait de chèvre et de brebis.*

Espèce Source des données	Chèvres [1] Base de données	Chèvres [2] Alonso et al 1999	Brebis [1] Base de données
AG impairs linéaires			
C15:0	1,21 ± 0,30 (6)	0,64 – 0,71	np
C17:0	0,90 ± 0,09 (6)	0,68 – 0,77	np
AG ramifiés			
Iso C14	0,15 ± 0,02 (3)	np	np
Iso C16	0,41 ± 0,06 (3)	0,21 – 0,30	np
Iso C18	0,13 ± 0,03 (3)	np	np
AnteIso C15	0,53 ± 0,02 (3)	0,21 – 0,22	np
AnteIso C17	0,69 ± 0,03 (3)	0,37 –0,46	np
AG monoinsaturés			
C10:1	0,30 (1)	0,24 – 0,26	np
C14:1	1,10 ± 1,13 (2)	0,12 – 0,15	0,36 (1)
C16:1	1,91 ± 1,76 (12)	1,30 – 1,89	1,47 ± 0,5 (4)
C16:1 trans	0,65 (1)	0,16	np
C18:1 trans	1,51 ± 0,53 (5)	2,12	3,78 ± 3,82 (3)
AG polyinsaturés			
C18:2	2,54 ± 0,99 (15)	2,7 – 3,5	1,66 ± 0,42 (5)
C18:3	0,88 ± 1,04 (11)	0,37 – 0,50	1,04 ± 0,04 (2)
C20:4	0,13 ± 0,05 (6)	np	np
C20:5	0,13 ± 0,17 (3)	np	np
C22:6	0,10 ± 0,15 (3)	np	np
C18:2 conjugué (CLA)	0,64 ± 0,21 (10)	0,41 – 0,76	1,37 ± 0,76 (6)

[1] Données exprimées par moyenne ± écart-type (n = nombre de lots). np = données non présentes dans la base de données. Les publications utilisées sont celles de la figure 4.
[2] Plage de variation des données moyennes de 5 troupeaux.

les plus fréquemment observées pour cette substitution sont opérées sur le pénultième (forme iso) ou l'antépénultième (forme ante-iso) carbone de la chaine des AG (tableau 3), ces 2 formes représentant près de 80 % des formes substituées. Dans la base de données, les formes les plus représentées dans le lait de chèvre sont les AG ante-iso C15 et ante-iso C17 ainsi que l'iso-C16, comme observé par Alonso *et al* (1999). Ces AG ramifiés sont principalement synthétisés par les bactéries du rumen durant le métabolisme des acides aminés ramifiés (Massart-Leën *et al* 1983). Par ailleurs, d'autres positions de cette mono-substitution ainsi que des substitutions multiples ont été également observées (Massart-Leën *et al* 1981), dont le précurseur probable est le propionate. L'importance de quantifier ces fractions réside dans le fait que certains AG ramifiés non iso- et non ante-iso, en particulier le 4-éthyloctanoate et le 4-méthyloctanoate déterminent en partie les caractéristiques organoleptiques des produits laitiers caprin et ovin, respectivement (Woo et Lindsay 1984).

c / Acides gras mono-insaturés

Les AG mono saturés de la MG du lait résultent pour partie de leur prélèvement plasmatique par la glande mammaire et pour partie de l'activité de la Δ9 désaturase mammaire qui convertit l'acide saturé en acide mono-insaturé de forme isomérique *cis*. Cette désaturase est d'autant plus active que la chaîne carbonée de l'AG est longue, ce qui explique les faibles teneurs en AG monoène pour une longueur de chaîne inférieure ou égale à 14 (tableau 3). L'AG mono-saturé le plus important est l'acide oléique (9*cis*-C18:1) qui est le deuxième AG le plus représenté chez les brebis (18,6 ± 5,5 %, n = 4) et les chèvres (19,3 ± 7,4 %, n = 17).

L'autre isomère géométrique des AG mono-insaturés est la forme trans. Ces AG *trans* sont formés essentiellement dans le rumen lors de la biohydrogénation des AG linoléique et linolénique lors d'apport de concentré en quantité importante ou lorsque l'alimentation est riche en acide linoléique (ou, dans une moindre mesure, en acide linolénique). Dans ces conditions, la biohydrogénation de ces AG est réduite du fait de la baisse du pH qui induit une réduction de l'activité des enzymes de la lipolyse des TG alimentaires (Grinarii *et al* 1998) induisant une augmentation de l'absorption d'AG *trans* ainsi que d'AG conjugués (comme l'acide ruménique *cis*-9 *trans*-11-C18:2, en particulier. L'intérêt scientifique pour ces AG *trans*, et plus particulièrement pour les isomères du *trans*-C18:1 provient du fait d'une part, de leur rôle potentiel sur le développement des maladies cardiovasculaires (Kris-Etherton *et al* 1995), et d'autre part de leur rôle supposé dans la chute du TB chez les vaches laitières (Chilliard *et al* 2000 et 2001, Bauman et Grinarii 2001).

Si les données sur vaches laitières sont nombreuses, celles concernant les petits ruminants sont plus rares. Les seules informations pour le *trans*-C16:1 dans la MG du lait sur la base de données concernent les chèvres, avec des teneurs variant de 0,16 % pour des laits de mélanges (Alonso *et al* 1999) à 0,65 % pour une alimentation avec 50 % de concentré (Calderon *et al* 1984). Pour le *trans*-C18:1, la teneur moyenne obtenue chez la chèvre en conditions alimentaires maîtrisées (Calderon *et al* 1984, Gulati *et al* 2000, Kitessa *et al* 2001b, Ledoux *et al* 2001) est de 1,50 ± 0,53 % des AG totaux (n = 5), ce qui est légèrement inférieur à la teneur moyenne de 2,1 % rapportée par Alonso *et al* (1999).

Chez les brebis (Banni *et al* 1996, Wilkinson *et al* 2000), les teneurs en *trans*-C18:1 sont très variables (tableau 3) et en moyenne plus élevées que chez les chèvres ou les vaches. Cette forte variabilité est probablement en partie due à un effet saison, bien que les résultats apparaissent contradictoires : les teneurs les plus élevées en AG *trans* ont été obtenues en période estivale (Jahreis *et al* 1999) ou hivernale (Banni *et al* 1996). Il est probable que ces contradictions reflètent plutôt des différences de types d'alimentation (nature des fourrages, quantités et nature des concentrés) entre essais, qui induisent des conditions physico-chimiques dans le rumen plus ou moins favorables à la biohydrogénation des AG.

Le profil des isomères des AG *trans* et en particulier du *trans*-C18:1 est important à déterminer puisque l'activité biologique de ces isomères dépend du positionnement de la double liaison sur la chaîne carbonée (Bauman et Grinarii 2001). Chez les chèvres, ce profil n'est mentionné que dans une expérimentation (Ledoux *et al* 2001) : le *trans*11-C18:1 est majoritaire (tableau 4) constituant de 30 à 40 % des *trans*-C18:1 de la MG, suivi par le *trans*10-C18:1 (entre 10 et 16 %). Les autres isomères quantifiables dans le lait de chèvre sont le *trans*9, le *trans*12 et le mélange *trans*13 + *trans*14, qui représentent chacun de 9 à 14 % des *trans*-C18:1, les *trans*15 et 16, et le mélange (*trans*6, *trans*7 et *trans*8) en représentant de 5 à 8 %. Ces données expérimentales sont assez similaires à celles obtenues par Alonso *et al* (1999) sur des laits de mélanges, bien que des conditions chromatographiques différentes entre ces deux groupes de résultats ne permettent pas une comparaison directe. Chez la brebis, le *trans*11-C18:1 est également l'isomère le plus important (Jahreis *et al* 1999). A conditions d'alimentation comparables, la MG des brebis apparaît la plus riche en *trans*11-C18:1 (plus de 3 % des AG totaux), comparativement à la vache (environ 2,5 %) et à la chèvre (environ 1,5 %).

d / Acides gras polyinsaturés

Les AG polyinsaturés ne sont pas synthétisés chez les ruminants, leur concentration dans le lait dépend donc essentiellement des apports par l'alimentation. La teneur totale en AGPI cis (C18:2 à C22:6, tableau 3) est faible (2 à 3 %) dans le lait de chèvre et de brebis, du fait de leur biohydrogénation ruminale (Gulati *et al* 1999). Parmi ces AGPI, c'est le *cis*9 *cis*12-C18:2 (acide linoléique) qui est le plus représenté, sa teneur étant plus élevée dans le lait de chèvre que de brebis. Les teneurs de la MG en AGPI au-delà du C18:3 ne sont pas représentées pour les brebis dans cette base de données.

Chez la chèvre, dans des conditions classiques d'alimentation, la teneur en *cis*9 *cis*12 *cis*15-C18:3 (acide linolénique) est inférieure ou égale à 1 % (0,87 ± 1,10, n = 10) et celles des autres AG polyinsaturés sont inférieures à 0,2 %. En particulier, celles du C20:5 et du C22:6 dépassent rarement 0,1 % (tableau 3), sauf lors d'apport d'huiles de poisson.

Les isomères conjugués (i.e. présentant deux double liaisons, une de type *cis* et une *trans*) de l'acide linoléique (CLA) sont des intermédiaires de la biohydrogénation ruminale du C18:2 en acide stéarique. L'étape initiale de la biohydrogénation conduit à la formation des deux principaux isomères, le *cis*9 *trans*11-C18:2 et le *trans*10 *cis*12-C18:2, qui sont ultérieurement hydrogénés en *trans*11-C18:1 et *trans*10-C18:1 respectivement, cette dernière étape étant considérée comme l'étape limitante de la biohydrogénation (Bauman et Grinarii 2001). En conséquence la majeure partie des CLA retrouvés dans la MG du lait n'est pas d'origine digestive mais d'origine endogène, liée à l'activité de la désaturase intestinale et mammaire. Dans ces conditions, il est donc logique de trouver une liaison positive entre CLA et AG *trans* dans la matière grasse du lait (Banni *et al* 1996, Jahreis *et al* 1999).

L'intérêt concernant ces CLA pour la santé humaine (Parodi *et al* 1999) ainsi que la controverse sur les rôles respectifs des deux isomères sur la chute du TB a induit un nombre important de résultats chez la vache laitière depuis quelques années, en particulier en ce qui concerne la maîtrise de ces AG et des conditions d'alimentation qui les font varier (Chilliard *et al* 2000 et 2001, Bauman et Grinarii 2001). Chez les petits ruminants, les données sont plus rares (tableau 4), et issues uniquement de quatre publications: Alonso *et al* (1999, chèvre), Banni *et al* (1996, brebis), Gulati *et al* (2000, chèvre), Jahreis *et al* (1999, brebis et chèvre), dans des conditions d'alimentation généralement peu définies. En ne considérant que les lots témoins de la base de données, les teneurs en CLA du lait sont du même ordre de grandeur (0,64 ± 0,21 % des AG totaux) chez la chèvre que celles rapportées par Alonso *et al* (1999). Les données sur brebis montrent que la teneur de leur lait en CLA est environ 2 fois plus élevée que chez les chèvres, ce qui est quantitativement cohérent avec la hiérarchie observée entre ces deux espèces pour les teneurs en *trans*-C18:1. Il est à noter que dans ces publications (hors apport alimentaire d'huile ou d'isomère des CLA), seul le *cis*9 *trans*11-C18:2 est identifié.

Enfin il faut noter que des teneurs non négligeables en C18:2 *trans* (0,4 à 2,1 % des AG totaux) ainsi qu'en C18:3 conjugué (0,05 à 0,1% AG totaux) ont été également rapportées chez la brebis (Banni *et al* 1996, Wilkinson *et al* 2000).

3.2 / Apport de concentré

Il n'existe qu'un nombre très limité de données expérimentales récentes rapportant les effets de la proportion de concentré sur la composition en AG de la MG du lait chez les petits ruminants (Calderon *et al* 1984, Ledoux *et al* 2001).

Acides gras courts et moyens saturés (C4-C16)

Les données de Ledoux *et al* (2001) et de Calderon *et al* (1984) montrent que chez la chèvre en milieu de lactation, la réduction du TB par un accroissement du pourcentage de concentré ne modifie pas les proportions de

Tableau 4. *Effet de la proportion de concentré dans la rattion sur la teneur en acides gras trans de la matière grasse du lait, et sur la proportion des isomères du C18:1* trans *en liaison avec la chute du taux butyreux chez la chèvre.*

Référence	Calderon *et al* (1984)		Ledoux *et al* (2001)			
Fourrage	Foin (Luzerne + Avoine)		Foin de luzerne		Rumiluz	
Concentré (% MS)	**50**	**100**	**40**	**70**	**40**	**70**
Taux butyreux (g/kg)	34	30	32	31	32	29
Teneur en *trans* C16:1 (% AG totaux du lait)	0,65	0,68	-	-	-	-
Teneur en *trans* C18: 1 (% AG totaux du lait)	1,3	4,4	1,24	1,71	1,75	2,02
Proportion des isomères (% *trans* C18:1)						
6-8t			8,9	8,5	6,2	7,2
9t			11,5	10,0	7,9	8,9
10t			12,5	15,7	9,4	13,1
11t			30,7	30,9	38,6	33,5
12t			10,6	9,3	7,9	9,2
13-14t			13,0	13,9	14,9	15,2
15t			5,5	5,0	6,0	5,5
16t			6,9	6,4	8,5	7,1

C4:0 à C8:0, ni celles de C14:0 et C16:0 dans le lait. En revanche, celles de C10:0 et C12:0 sont augmentées (Calderon *et al* 1984), parfois significativement (Ledoux *et al* 2001), et celles des AG longs (C18:0, C20:0 et C22:0) sont réduites, reflétant la réduction des phénomènes d'hydrogénation ruminale des AG longs polyinsaturés lorsque la proportion de concentré s'accroît.

Acides gras mono-insaturés

L'augmentation du pourcentage de concentré accroît la teneur en *trans*-C18:1 de la MG du lait chez la chèvre et elle réduit celles en *cis*9-C16:1 et en 9*cis*-C18:1 (Calderon *et al* 1984) en relation avec la chute du TB (tableau 4 ; Calderon *et al* 1984, Ledoux *et al* 2001). Qualitativement, ces données font apparaître une relation linéaire entre le pourcentage de concentré et la teneur en *trans*-C18:1 de la MG du lait. Par ailleurs, l'étude du profil des isomères du *trans*-C18:1 (tableau 4) semble indiquer que le rôle du *trans*11 est mineur dans la chute du taux butyreux chez la chèvre, qui apparaît plutôt reliée à l'accroissement de la teneur en *trans*10. Ces données suggèrent que, à l'instar de la vache laitière (Bauman et Grinarii 2001), l'isomère *trans*10 *cis*12-C18:2 (issu de la désaturation mammaire du *trans*10-C18:10) est responsable de la chute du TB lors de l'apport de concentré chez la chèvre. Cependant, les variations observées du TB peuvent également être reliées à celle du groupe *trans*(13+14), et à celle du *trans*15 et du *trans*16. Par ailleurs les résultats de Ledoux *et al* (2001) indiquent que la nature du fourrage (foin de luzerne *vs* Rumiluz) conditionne les variations de la teneur totale en *trans*-C18:1 et les proportions des différents isomères, probablement en liaison avec la teneur respective de ces deux fourrages en C18:2 (0,87 % et 1,00 % des AG totaux, pour le foin et la Rumiluz respectivement).

Acides gras polyinsaturés

L'accroissement du pourcentage de concentré augmente la teneur en acide linolénique, tandis que la teneur en C18:3 n'est pas modifiée (Calderon *et al* 1984) ou est réduite (Ledoux *et al* 2001), celles en EPA et DHA étant également réduites. Par ailleurs, il n'existe pas à notre connaissance de données chez les petits ruminants concernant l'effet de l'apport de concentré sur les variations des teneurs en CLA.

3.3 / Apport de matières grasses

a / Matières grasses non protégées

La composition en AG du lait après apport de MG non protégées (tableau 5) a été étudiée soit avec des graines entières ou extrudées (colza riche en C18:1 et C18:2 dans une moindre mesure, soja riche en C18:2 et dans une moindre mesure en C18:1, ou de lin riche en C18:3), soit avec des huiles de poisson (riches en EPA et DHA), soit avec des graisses animales (riches en C16:0 et C18:0 essentiellement).

De façon globale, la proportion des AG courts (à l'exception de l'acide butyrique ; Lu 1993) et moyens jusqu'au C14:0 est réduite après apport de ces MG dans la ration, (sauf lors d'apport de graine de lin en substitution d'une ration de base contenant des SC ; Wilkinson *et al* 2000) du fait de l'inhibition de leur synthèse mammaire par les AG longs. L'amplitude de cette réduction n'apparaît liée ni à la quantité ni à la nature des lipides apportés, mais elle semble varier parallèlement au changement des teneurs en trans-C18:1 (Wilkinson *et al* 2000, Kitessa *et al* 2001b). Indépendamment des effets sur le TB, la proportion d'acide palmitique est systématiquement réduite, l'inhibition de sa synthèse n'étant pas compensée par l'apport alimentaire sauf avec des graisses animales (riches en C16:0).

Par ailleurs, les proportions d'AG iso (iC14, iC16 et iC18), les ante-iso (AIC15, AIC17) ainsi que celles des AG impairs (C15:0 et C17:0) sont réduites par l'apport de graines de soja extrudées (Schmidely *et al* 2001), ce qui est à relier à la diminution de leurs proportions dans les AG des bactéries lorsque les teneurs en parois des rations diminuent (Bas *et al* 2001).

Cette réduction des proportions en AG courts et moyens est compensée par un accroissement de la proportion du C18:0 (sauf avec des huiles de poisson) et du C18:1, reflétant respectivement le faible degré de

protection des AG de ces matières grasses vis-à-vis de la biohydrogénation ruminale et l'activité de la Δ9 désaturase mammaire. Il apparaît cependant que le ratio C18:1/C18:0 est systématiquement réduit (sauf avec les huiles de poisson et les graisses animales) indiquant une probable saturation de l'activité de cette enzyme, qui apparaît maximale chez la vache laitière lorsque les teneurs en *trans*11-C18:1 sont faibles (Enjalbert *et al* 1998). Les données de Wilkinson *et al* (2000) sur brebis recevant des graines de lin sont en accord avec une réduction de l'activité de la Δ9 désaturase en relation avec l'accroissement (numérique) du *trans*-C18:1. Chez la chèvre, les données de Kitessa *et al* (2001b) montrent une augmentation simultanée du rapport C18:1/C18:0 et du *trans*-C18:1 avec des huiles de poisson non protégées (au contraire des données sur vache, Chilliard *et al* 2001), indiquant une limitation de la biohydrogénation ruminale et une activité accrue de la désaturase. Il est possible également qu'une incorporation préférentielle des AGPI d'huile de poisson dans la MG du lait se soit effectuée aux détriments du C18:0.

Les effets des graines non protégées sur les teneurs en C18:2 et C18:3 varient selon la graine (tableau 5), en relation avec sa composition en acide gras. Il est ainsi possible d'accroître significativement la teneur du lait en C18:2 avec des graines de soja extrudées et en C18:3 avec des graines de lin, du fait de la probable protection que représente la graine (même extrudée). Cependant, ces accroissements sont généralement inférieurs à 2 %, de façon identique à ce qui est observé chez les vaches laitières (Chilliard *et al* 2000). Les apports d'huile de poisson ou d'huile de colza sont sans effets sur ces AG du fait de leur forte hydrogénation dans le rumen. Très peu de données sont par ailleurs disponibles concernant les variations du CLA (Mir *et al* 1999) : des apports alimentaires d'huile de colza contenant 0,5 mg CLA /g augmentent de façon dose - dépendante la teneur en CLA du lait chez la chèvre, permettant de multiplier par 3 sa sécrétion quotidienne avec un apport de 120 g d'huile. Cependant, en recalculant le coefficient de transfert (CLA produit/ CLA apporté par l'alimentation), il apparaît un faible transfert (< 5 %) du CLA de l'huile vers le lait, traduisant une forte hydrogénation de cette huile non protégée.

Chez la chèvre, l'accroissement des teneurs en AGPI (C20:5 et C22:6) du lait après apport d'huile de poisson non protégée (Gulati *et al* 1999, Kitessa *et al* 2001b) est peu élevé puisque celui de l'EPA est toujours inférieur à 0,4 % et celui du DHA, plus variable, est compris entre 0,3 et 1,1 %. Ceci indique des coefficients de transfert faibles, compris entre 5 et 6 % pour C20:5 et C22:6. Ces coefficients, plus élevés chez les chèvres que chez les vaches laitières, ne sortent cependant pas de l'intervalle de confiance calculé sur un plus grand nombre de lots par Chilliard *et al* (2001). Ces faibles valeurs résultent majoritairement d'une biohydrogénation ruminale intense (avec production de *trans* C18:1, Kitessa *et al* 2001a), mais aussi d'une incorporation importante dans les phospholipides et les esters de cholestérol plasmatiques préférentiellement utilisés par le tissu adipeux et le muscle (Ashes *et al* 1992).

b / Matières grasses protégées

Savons de calcium

La composition en AG du lait lors d'apport de SC a été mesurée avec des matières premières comme l'huile de palme (Teh *et al* 1994, Martin *et al* 1999) riche en C16:0 et C18:1 et dans une moindre mesure en C18:2,

Tableau 5. *Influence de l'apport de matières grasses non protégées sur la composition en acides gras du lait (% des AG totaux) chez la brebis et la chèvre [1]. TB : taux butyreux, MG : matières grasses du lait.*

	Graines						Huiles				Graisses animales	
	Témoin [4]	Graine de lin entière 14 % MS	Témoin [5]	Graine de soja extrudées 20 % MS	Témoin [6]	Graine de colza	Témoin [7]	Huile de poisson 3 % MS	Témoin [8]	Huile de colza 3 % MS	Témoin [9]	Graisse jaune 5 % MS
C4 - C8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9,7	7,1 *
C10 à 14	.	.	29,6	21,9 *	5,0	3,0 ns	22,2	14,1 *	.	↘ * [2]	26,1	16.1 *
C4 à C14	.	ns [2]	.	.			.	.	.	.	.	.
C16:0	38,4	21,7 *	43,3	32,5 *	25,0	21,0 *	27,8	25,1 ns	44,4	34,1 *	23,2	27,9 *
C18:0	7,5	13,2 *	4,5	11,7 *	15,0	21,0 *	12,5	7,3 *	6,1	9,4 *	14,1	17,2 *
C18:1	.	.	11,2	17,6 *	34,0	41,0 *	.	.	20,7	28,9 *	21,0	26,9 *
C18:1 *trans*	1,9	3,4 ns	.	.	.	.	2,3	5,9 *	.	.	.	.
C18:1 *cis*	19,3	21,1 ns	.	.	.	.	24,9	33,0 *	.	.	.	.
C18:2	2,9	3,1 ns	1,9	3,8 *	2,5	3,5 ns	2,9	3,5 *	4,4	4,4 ns	0,02	0,01 ns
C18:2 *trans*	0,4	1,9 *	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
CLA [3]	.	.	.	.	.	.	.	.	1,1	3,0 *	.	.
C18:3	0,8	2,7 *	0,3	0,4 ns	nd	0,5 ns	0,6	0,3 ns	1,07	0,99 ns	3,9	2,6 ns
C20:5	.	.	.	.	.	.	nd	0,3 *	.	.	.	.
C22:6	.	.	.	.	.	.	nd	1,1 *	.	.	.	.
TB (g/kg)	46,1	38,5 *	33,0	35,3 *	.	.	41,5	43,3 ns	45,0	56,2 *	31,0	38,0 *
MG (g/j)	95	70 *	93	127 *	.	.	78	52 *	99	130 *	88	95 ns

[1] nd = non détectable, *: différence significative par rapport au témoin, ns = différence non significative par rapport au lot témoin.
[2] Données chiffrées non disponibles.
[3] CLA = acide linoléique conjugué (isomère non précisé).
[4] Wilkinson *et al* (2000), [5] Schmidely *et al* (2001), [6] Gulati *et al* (1997), [7] Kitessa *et al* (2001b), [8] Mir *et al* (1999), [9] Lu (1993).

ou des tourteaux d'olive (Perez-Alba *et al* 1997) très riches en C18:1, ou d'un mélange de MG animales et végétales (Baldi *et al* 1992) ou non définies (Gulati *et al* 1997, Rotunno *et al* 1999).

Quelles que soient leur origine et la dose apportée (figure 5), les SC n'ont pas d'effet sur la proportion des AG courts (C4 à C8) dans le lait de chèvre ou de brebis, ce qui est comparable aux observations effectuées sur vaches (Chilliard *et al* 2000). En revanche, ils réduisent de façon dose –dépendante la somme des AG moyens (C10 à C14) selon la relation intra-expérimentation :
AG moyens (% AG totaux) = 23,8 – 0,038 x SC (g/j)
R = 0,84, ETR = 3,1 %, n = 15, nexp = 6,
ce qui reflète l'inhibition de la synthèse mammaire des AG moyens par les AG en C18:0 et C18:1 des matières premières. Par ailleurs, les effets sur les proportions de C16:0 et de C16:1 sont non significatifs, avec un accroissement dans le cas d'apport de SC d'huile de palme en particulier (Teh *et al* 1994, Martin *et al* 1999) et une réduction dans le cas de SC de tourteaux d'olive (Perez-Alba *et al* 1999), reflétant l'équilibre des origines du C16 (synthèse et apport alimentaire). La réponse de la somme (C18:0 et C18:1) est positive et dose - dépendante de l'apport de SC :
C18:0 + C18:1 (% AG totaux) = 30,8 + 0,036 x SC (g/j)
R = 0,97, ETR = 3,5 %, n = 18, nexp = 7,
avec une réponse de C18:1 deux fois plus élevée que celle de C18:0 (2,5 % *vs* 1,1% des AG totaux pour 100 g de SC), ce qui est probablement attribuable à l'activité de la Δ9 désaturase mammaire.

Enfin, la réponse de la proportion du C18:2 est très variable (figure 5), avec des réponses parfois importantes, supérieures ou égales à +1 % avec des matières premières non précisées (Gulati *et al* 1997) ou des formes de protection peu renseignées (Rotunno *et al* 1998). Avec les SC d'huile de palme ou d'AG d'olive, les variations de la proportion d'acide linoléique sont faibles, reflétant surtout une incomplète protection des SC de la biohydrogénation ruminale, mais aussi la faible teneur de ces matières premières en cet acide.

Matières grasses encapsulées

Les effets de l'encapsulation des MG ont été étudiés par comparaison de MG traitées (graine de coton, ou mélange d'isomères de CLA) à une ration pauvre en lipides ou par comparaison de la MG encapsulée (graine de lin, de colza, ou huile de poisson) à une ration témoin contenant la MG non traitée (tableau 6).

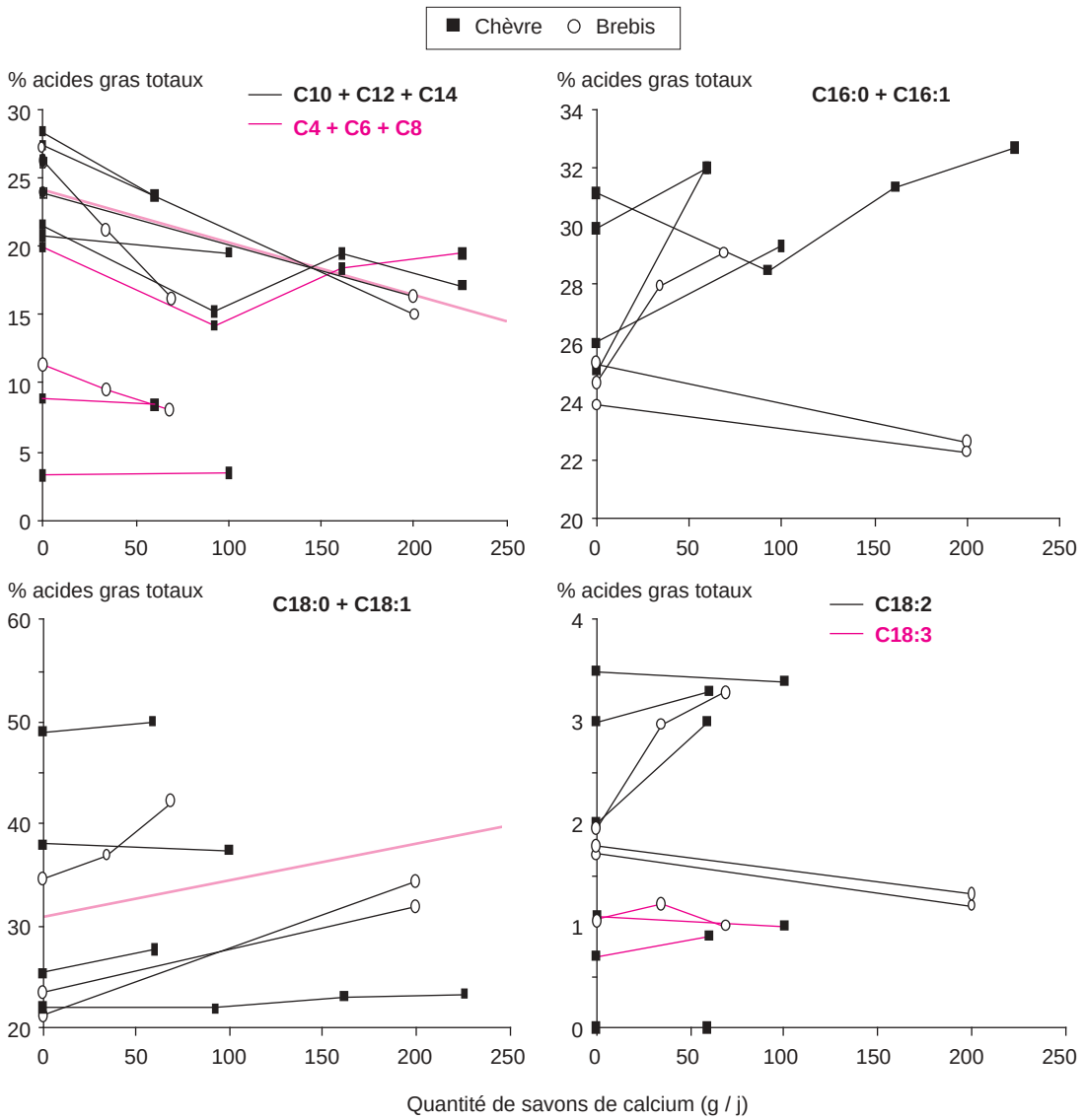
Par comparaison à la matière grasse non protégée, l'encapsulation des graines (lin ou colza) ou d'huile de poisson permet en général de limiter l'effet dépresseur observé sur les AG courts et moyens (C6 à C14), de façon d'autant plus marquée que leur synthèse est fortement inhibée par la MG non protégée (tableaux 5 et 6). Cet effet est a priori surprenant puisque la protection des AG longs devrait inhiber fortement la synthèse mammaire des AG courts et moyens. Il est possible que ces MG encapsulées soient moins défavorables à la digestion des fibres dans le rumen et à la production d'acétate ruminal disponible pour la synthèse mammaire. Cependant, dans le cas des comparaisons MG encapsulées *vs* rations non supplémentées en MG (riches en fibres), la synthèse des AG courts et moyens est systématiquement réduite (Gulati *et al* 1997 et 2000). Par ailleurs la réponse de la proportion de C16:0 à la protection est très variable, indépendamment des comparaisons effectuées.

Tableau 6. *Variation de la composition en acides gras du lait avec l'apport de matières grasses (MG) protégées chez la brebis et la chèvre* [1].

	MG non traitées vs MG encapsulées				Ration non supplémentée vs MG protégées	
Lot MG encapsulée Lot témoin	Graine de lin Graine de lin [5]	Graine de colza Graine de colza [6]	Huile de poisson Huile de poisson [7]	Huile de poisson Huile de poisson [8]	Graine de coton Foin Luzerne/Avoine [6]	CLA (4) Foin Luzerne/Avoine [9]
C4 à C8	.	.	.	.		.
C10 à 14	ns [2]	+ 1,5	+ 10,4 *	.	-2 *	- 6,2 *
C16:0	- 2,4 ns	- 4 *	+ 4,3 ns	.	- 1 ns	-1,4 ns
C18:0	- 0,3 ns	- 10 *	- 3,0 *	.	+ 8 *	+ 8,8 *
C18:1	.	+ 1 ns	.	.	- 10 *	
C18:1 *trans*	+ 1,4 ns	.	+ 2,5 *	.	.	+ 2,0 *
C18:1 *cis*	- 0,2 ns	.	- 14,2 *	.	.	-5,5 *
C18:2	+ 0,6 ns	+ 5 *	+ 0,03 ns	.	+ 16 *	+0,6
C18:2 *trans*	+ 0,1 ns	.	.	.	.	.
CLA (C18:2 c9 t11)	.	.	.	.	.	+ 1,6 *
CLA (C18:2 t10 c12)	.	.	.	.	.	+ 1,9 *
C18:3	+ 1,9 *	+ 1,5 *	+ 0,18 ns	.	.	-0,02 ns
C20:5	.	.	+ 0,16 ns	+ 0,2 [3]	.	.
C22:6	.	.	- 0,11 ns	+ 0,2 [3]	.	.
Taux butyreux (g/kg)	- 2,3 ns	.	- 2,6 ns		.	.
Matières grasses du lait (g/j)	-1 ns	.	+ 20 *	+6	.	.

[1] Les données sont exprimées en variation des AG du lait par rapport à la matière grasse non protégée (%AG (lot expérimental) - %AG (lot témoin)) . nd = non détectable. *: différence significative par rapport à la matière grasse non protégée. ns = différence non significative par rapport à la matière grasse non protégée.
[2] Données chiffrées non disponibles.
[3] Niveau de signification non indiqué.
[4] CLA = 40 g / j d'un mélange d'acides linoléiques conjugués (21% de C18:2 c9 t11 + 31% C18:2 t10 c12 + 5% autres isomères). Les pourcentages indiqués concernent la fraction des lipides neutres du lait.
[5] Wilkinson *et al* (2000), [6] Gulati *et al* (1997), [7] Kitessa *et al* (2001b), [8] Gulati *et al* (1999), [9] Gulati *et al* (2000).

Figure 5. *Influence de l'apport de savons de calcim sur la composition en acides gras du lait de chèvre et de brebis.*
Les lignes rouges représentent les relations intra expérimentations (cf texte). Références : Baldi et al *1992, Teh* et al *1994, Gulati* et al *1997, Martin* et al *1999, Perez-Alba* et al *1999, Rotunno* et al *1999.*



Par comparaison à une MG non protégée, les proportions de C18:0 et de *cis*9-C18:1 sont réduites (avec une diminution (Kitesssa *et al* 2001b) ou une augmentation (Gulati *et al* 1997) du ratio *cis*-C18:1/C18 :0) et celles du *trans*-C18:1 sont augmentés après encapsulation. En comparaison à une ration non supplémentée en MG, les proportions de C18:0 et de *trans*-C18:1 sont accrues et celle de *cis*9-C18:1 est réduite. La variabilité de ces résultats provient essentiellement de l'ampleur respective des variations des conditions d'hydrogénation ruminale des AG et de l'activité de la Δ9 désaturase par rapport au témoin considéré. Par ailleurs, les teneurs élevées en AG cyclopropénoiques des graines de coton pourraient constituer des inhibiteurs puissants de cette enzyme.

Les transferts de C18:2 et C18:3 sont systématiquement améliorés par la protection des graines (tableau 6). Pour C18:2, l'accroissement de sa teneur dans le lait apparaît proportionnel d'une part à sa concentration dans la graine (Coton > Colza > Lin), et d'autre part à la quantité de graine dans la ration (Gulati *et al* 1997). Il est ainsi possible d'accroître la proportion de C18:2 dans la MG du lait jusqu'à 10 % des AG totaux avec des graines de colza encapsulées et jusqu'à 18 % avec des graines de coton.

Pour C18:3, de telles relations ne peuvent être mises en évidence, probablement du fait de la réduction de son coefficient de transfert entre le duodénum et le lait lorsque son flux duodénal s'accroît (Chilliard *et al* 2000). Il est cependant possible d'accroître sa part dans les AG du lait jusqu'à 3,5 % avec des associations graine de colza protégées/soja (Gulati *et al* 1997) ou jusqu'à 4,5 % avec des graines de lin protégées (Wilkinson *et al* 2000).

Les huiles de poisson protégées n'ont aucun effet sur les proportions de C18:2 et C18:3 du fait de leurs faibles teneurs en ces AG.

La protection d'un mélange d'isomères de CLA (*cis*9 *trans*11-C18:2 et *trans*10 *cis*12-C18:2) multiplie par 3 environ la part de *cis*9

*trans*11 (jusqu'à 2,8% des AG totaux), et fait apparaître le *trans*10 *cis*12 dans les AG (jusqu'à 2,4 %), avec un homogénéité de distribution entre les lipides neutres et les phospholipides du lait (Gulati *et al* 2000). Dans ces conditions, les coefficients de transfert sont compris entre 30 et 40 % et entre 20 et 30 % pour le *cis*9 *trans*11 et le *trans*10 *cis*12 respectivement. Ces valeurs sont plus élevées que celles obtenues par infusion de ces AG dans le duodénum chez la vache (Chouinard *et al* 1999).

Il est également possible d'accroître les proportions de C20:5 et de C22:6 dans le lait de chèvre par encapsulation d'huile de poisson (Gulati *et al* 1999, Kitessa *et al* 2001b). Cependant l'accroissement de leur coefficient de transfert est faible, compris entre 2 et 3 % pour chacun d'entre eux, ce qui représente des valeurs inférieures à celles obtenues sur vaches laitières (Cant *et al* 1997).

Conclusion

A l'examen de ces résultats expérimentaux, il apparaît que chez les petits ruminants, la modification des proportions de concentré et, plus encore, l'apport de différentes sources de matières grasses protégées ou non peuvent constituer des moyens rapides et puissants pour modifier le taux butyreux du lait, la production de matières grasses et leur composition en acides gras, selon des objectifs de caractéristiques technologiques, nutritionnelles, organoleptiques et sanitaires des matières grasses laitières. Ces objectifs ne pourront pas être simultanément réalisés par un choix alimentaire unique, et des combinaisons de MG de nature différente, de niveaux d'apport de concentré associés à d'autres facteurs (présentation de la ration, rythme de distribution, nature des fourrages) devront être associées.

Les données chez les chèvres et plus encore chez les brebis sont encore trop fragmentaires, et on ne peut systématiquement extrapoler les données obtenues sur vaches laitières du fait de la spécificité de certaines réponses. Des études spécifiques des petits ruminants apparaissent donc nécessaires pour préciser les caractéristiques de composition de la MG des produits laitiers (lait et fromage) en relation avec les qualités recherchées pour ces produits, et la réponse de ces différentes caractéristiques aux variations d'apport alimentaires. Ces études ne pourront cependant s'effectuer sans une évaluation de l'acceptabilité sociale des techniques utilisées, en particulier pour ce qui concerne l'apport même de matières grasses dans l'alimentation, ou des modes de leur protection. .

Références

Abijaoude J., 1999. Influence de la nature du régime sur le comportement alimentaire, la digestion, le métabolisme et les performances des chèvres laitières. Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris - Grignon, Sept 1999, 137p.

Alonso L., Lozada M., Fraga M, Juarez M., 1999. Fatty acid composition of caprine milk: major, branched chain, and trans fatty acids. J. Dairy Sci., 82, 878-884.

Ashes, J. R., Siebert B.D., Gulati, S.K., Cuthbertson A.Z., Scott T.W., 1992. Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil into tissue and serum lipids of ruminants. Lipids, 27, 629-631.

Bailoni L., Andrighetto I., 1995. Effect of forage : concentrate ratio on digestive and metabolic parameters and milk production in primiparous dairy goats. Zoot. Nutr. Anim., 21, 333-344.

Baldi A., Cheli F., Corino C., DellOrto V., Polidori F., 1992. Effect of feeding calcium salts of long chain fatty acids on milk yield, milk composition and plasma parameters of lactating goats. Small Rum. Res., 6, 303-310.

Banni S., Carta G., Contini M.S., Angionni E., Deiana M., Dessi M. A., Melis M. P., Corongiu F. P., 1996. Characterization of conjugated diene fatty acids in milk, dairy products and lamb tissues. J. Nutr. Biochem., 7, 150-155.

Bas P., Archimède H., Rouzeau A., Sauvant D., 2001. Influence of level and type of forage and type of concentrate on fatty acid composition of mixed-rumen bacteria. J. Anim Sci. (soumis).

Bauman D.E., Grinarii J.M. , 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low milk fat syndrome. Livest Prod. Sci., 70, 15-29.

Bocquier F., Caja G., 2001. Production et composition du lait de brebis : effets de l'alimentation. INRA Prod. Anim., 14, 129-140.

Brendehaug J., Abrahamsen R.K., 1986. Chemical composition of milk from a herd of Norwegian goats. J. Dairy Res., 53, 211-221.

Brown-Crowder I.E., Hart S.P., Sahlu T., 1997. Increasing dietary energy density using by-pas fat on performance in early lactation Alpine does. J. Dairy Sci., 80 (suppl 1), 243(Abst).

Calderon I., de Peters E.J., Smith N.E., Franke A.A., 1984. Composition of goat's milk: changes within milking and effect of a high concentrate diet. J. Dairy Sci., 67, 1905-1911.

Cant J.P., Freeden A.H., McIntyre T., Gunn J., Crowe N., 1997. Effect of fish oil on milk composition of dairy cows. Can. J. Anim. Sci., 77, 125-131.

Casals R., Caja R., Guillou D., Torre C., Such J., 1992. Influence of dietary levels of calcium soaps of long chain fatty acids on lactational performance of dairy ewes. J. Dairy Sci., 75 (suppl 1), 174A.

Casals R., Caja G., Such J., Torre C., Calsamiglia S., 1999. Effects of calcium soaps and rumen undegradable protein on the milk production and composition of dairy ewes. J. Dairy Res., 66, 177-191.

Chadio S.E., Zervas G., Kiriakou K., Goulas C., Menegatos J., 2000. Effects of recombinant bovine somatotropin administration to lactating goats. Small Rum. Res., 35, 263-269.

Chilliard Y., 1996. Caractéristiques biochimiques des lipides du lait de chèvre – Comparaison avec les laits de vaches et humain. In : G. Freund (ed), Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre, 51-66. INRA Editions, collection Les Colloques de l'INRA, n°81, Paris.

Chilliard Y., 1999. Metabolic adaptation and nutrient partitioning in the lactating animal. In: "Biology of lactation". pp 503-522. Eds: Martinet, J. Houdebine, L. M., and Head H. H. INRA (Ed). Paris, France.

Chilliard Y., Bocquier F., 1993. Effects of fat supplementation on milk yield and composition of dairy goats and ewes. P61- 78. Proc 5th Int Symp. "La qualita nelle produzini dei piccoli ruminanti". Camera di Commercio Industrio Artigiano Agricultura di Varese, Varese, Italia

Chilliard Y., Doreau M., Cagliostro G., Elmeddah Y., 1993. Adition de lipides protégés (encapsulés ou savons de calcium) à la ration des vaches laitières. Effets sur les performances et la composition du lait. INRA Prod. Anim., 6, 139-150.

Chilliard Y., Ferlay A., Mansbridge R.M., Doreau M., 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. Ann. Zoot., 49, 181-205.

Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M., 2001. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyinsaturated fatty acids. Livest. Prod. Sci., 70, 31-48.

Chouinard P.Y., Corneau L., Barbano D.M., Metzger L.E., Bauman D.E., 1999. Conjugated linoleic acid alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. J. Nutr., 129, 1579-1584.

Daccord R., 1985. Effects of type of concentrate on digestibility and nitrogen utilisation of a forage based diet in lactating goats. Ann. Zoot., 34, 480A.

Daccord R., 1987. Effect of addition of animal or vegetable fat to a hay based on digestibility and nitrogen balance in the lactating goat. Ann. Zoot., 36, 329A.

Disenhaus C., Jammes H., Hervieu J., Ternois F., Sauvant D., 1995. Effect of recombinant bovine somatotropin on goat milk yield, composition, and plasma metabolites. Small Rum. Res., 15, 139-148.

Eik L.O., 1991. Effect of feeding intensity on performance of dairy goats. Small Rum. Res. 6, 233-244.

Eik L.O., Nedkvitne J.J., Robstadt A.M., 1991. Long term effects of feeding intensity and supplementation on the utilization of unimproved pastures by dairy goats. Small Rum. Res. 6, 245-255.

Eknaes M., Skeie S., Eik L.O., Havrevoll O., 1998. Effect of different concentrate levels for grazing dairy goats on off flavour in goat milk. In: nutrition of sheep and goats. FAO-CIHEAM Network, Grignon, France.

El Badawi A.Y., 1994. Effects of dietary roughage levels on the lactation performances of Egyptian goats. Egypt. J. Anim. Prod., 31, 11-124.

El-Gallad T.T., Gihad E.A., Allam S.M., El-Bedawy T.M., 1988. Effect of energy intake and roughage ratio on the lactation of egyptian nubian (Zaraibi) goats. Small Rum. Res., 1, 327-341.

Enjalbert F., Nicot M.C., Bayourthe C., Moncoulon R., 1998. Duodenal infusion of palmitic, stearic or oleic acid differently affect mammary gland metabolism of fatty acid in lactating dairy cows. J. Nutr, 128, 1525-1532.

Espinoza J.L., López-Molina O., Ramírez-Godínez J.A., Jimenez J., Flores A., 1998. Milk composition, postpartum reproductive activity and growth of lambs in Pelibuey ewes fed calcium soaps of long chain fatty acids. Small Rum. Res., 27, 119-124.

Giger-Reverdin S., Bezault N., Sauvant D., Bertin G., 1996. Effects of a probiotic yeast in lactating ruminants: interaction with dietary nitrogen level. Anim. Feed Sci. Technol., 63, 149-162.

Grinarii J.M., Bauman D.E., 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: «Advances in Conjugated Linoleic Acid Research» Yurawecz M. P., Mossoba M. M. Kramer J.K, G, Pariza M.W., Nelson G.J. (Eds). Vol 1. P 180-200., Champaign, Illinois, AOCS Press.

Grinarii J.M., Dwyer D.A., Mc Guire M.A., Bauman D.E., Palmquist D.L., Nurmela K.V.V., 1998. Trans-octadecenoic acid and milk fat depression in lactating cows. J. Dairy Sci., 81, 1251-1261.

Gulati S.K., Byers E.B., Byers Y.G., Ashes J.R., Scott, T.W., 1997. Effect of feeding different fat supplements on the fatty acid composition of goat milk. Anim. Feed Sci. Technol., 66, 159-164.

Gulati S.K., Ashes J.R., Ascott T.W., 1999. Hydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids and their incorporation into milk fat. Anim. Feed Sci. Technol., 79, 57-64.

Gulati S.K., Kitessa S.M., Ashes J.R., Fleck E., Byers E.B., Byers Y.G., Scott T.W., 2000. Protection of conjugated linolec acids from ruminal biohydrogenation and their incorporation into milk fat. Anim. Feed Sci. Technol., 86, 139-148.

Hadjipanayiotou M., 1999. Feeding ensiled crude olive cake to lactating Chios ewes, Damascus goats, and Friesan cows. Livestock Prod. Sci., 59, 61-66.

Horton G.M. J., Wohlt J.E., Palatini D.D., Baldwin J.A., 1992. Rumen protected lipid for lactating ewes and their nursing lambs. Small Rum. Res., 9, 27-36.

Jahreis G., Fritsche J., Mockel P., Schone F., Moller U., 1999. The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, cis9, trans11 C18:2 in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. Nutr. Res., 19, 1541-1549.

Kawas J.R., Lopez J., Danelon D.L., Lu C.D., 1991. Influence of forage to concentrate ratios on intake, digestibility, chewing and milk production of dairy goats. Small Rum. Res., 4, 11-18.

Kitessa S.M., Gulati S.K., Ashes J.R., Fleck E., Scott T. W., Nichols P.D., 2001a. Utilisation of fish oil in ruminants. I. Fish oil metabolism in sheep. Anim Feed Sci. Technol., 89, 189-199.

Kitessa S.M., Gulati S.K., Ashes J.R., Fleck E., Scott T.W., Nichols P.D., 2001b. Utilisation of fish oil in ruminants. II. Transfer of fish oil fatty acids into goats' milk. Anim. Feed Sci. Technol., 89, 201-208.

Kovessy J., Robinson J., Lough A.K., Aitken R.P., 1987. The effect of a dietary supplement of protected fat on the yield and composition of milk from ewes receiving different levels of fish meal. Anim. Prod., 44, 482A.

Kris-Etherton P.M., 1995. Ed. Report of the Expert Panel on Trans fatty acids and coronary heart disease. Am. J. Clinic. Nutr., 62, 655S-707S.

Landau S., Vecht J., Perevolotsky, A., 1993. Effects of two levels of concentrate supplementation on milk production of dairy cows browsing Mediterranean shrubland. Small Rum. Res., 11, 227-237.

Ledoux M., Rouzeau A., Bas P., Sauvant D., 2001. Occurrence of trans-C18:1 fatty acid isomers in goat milk: effect of two dietary regimen. J. Dairy Sci. (accepté).

Lu C.D., 1993. Implication of feeding isoenergetic diets containing animal fat on milk composition of alpine does during early lactation. J. Dairy Sci., 76, 1137-1147.

Martin L., Rodriguez L.P., Rota A., Rojas A., Pascual, M.R., Tovar J., 1999. Effect of fat supplementation to lactating goats on growth and fatty acid composition of perirenal fat in goat kids. Anim Sci., 68, 195-200.

Massart-Lëen A.M., de Pooter H., Decloedt M., Schamp N., 1981. Composition and variability of the branched chain fatty acid fraction in the milk of goats and cows. Lipids, 16, 286-292.

Massart-Lëen A.M., Roets E., Peeters G., Verbeke R., 1983. Propionate for fatty acid synthesis by the mammary gland of the lactating goat. J. Dairy Sci., 66, 1445-1454.

Mir Z., Goonewardene L.A., Okine E., Jaegar S., Scheer H.D., 1999. Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acids in goats milk. Small Rum. Res., 33, 137-143.

Morand-Fehr P., Chilliard Y., Bas P., 1986. Répercussions de l'apport de matières grasses dans la ration sur la production et la composition du lait de ruminant. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 64, 59-72.

Morand-Fehr P., Bas P., Sauvant D., Ternois,F., Hervieu J., 1987. Effect of dairy fat prills on milk performances of goats in early lactation, 1420 (Abs). 4th Intern. Conf. On Goats. March 8-13, Brazilia, Brazil.

Morand-Fehr P., Bas P., Blanchart G., Daccord R., Giger-Reverdin S., Gihad E. A., Hadjipanayiotou M., Mowlem A., Remeuf F., Sauvant D., 1991. Influence of feeding on goat milk composition and technological characteristics. In: P. Morand-Fehr (Ed), Goat Nutrition. European Association of animal production Publication n°46, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

Mowlem A., J.D. Oldham, S. Nash, 1985. Effect of concentrate allowance on ad libitum hay consumption by lactating british saanen goats. Ann. Zoot. 34, 474A.

Osuna, D.R., Casals R., Caja G., Peris S., 1998. Effect of feeding whole oilseeds to partially replace calcium soaps of fatty acids on dairy ewes intake and milk production and composition. J. Dairy Sci., 81(supp1), 302A.

Parodi P.W., 1999. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents in bovine milk fat. J. Dairy Sci., 82, 1339-1349.

Perez L, Sanz-Sampelayo M.R., Extremear G., Boza J., 1998. Effect of calcium soap supplies on goat milk production and fat composition. 8th Meeting on Nutrition of sheep and goats, Coopérative FAO-CIHEAM Network on sheep and goats. Grignon, France.

Perez-Alba L.M., de Souza Cavalcanti S., Perez Hernandez M., Martinez Marin A., Fernandez Marin G., 1997. Calcium soaps of olive fatty acids in the diet of manchega dairy ewes: effect on digestibitity and production. J. Dairy Sci., 80, 3316-3324.

Perez-Hernandez M., Robinson J.J., Aitken R.P., Fraser C., 1986. The effect of the dietary supplements of protected fat on the yield and fat concentration of ewe's milk and on lamb growth rate. Anim. Prod., 42, 455A.

Rotunno T., Sevi A., Di Caterina R., Muscio A., 1998. Effects of graded levels of dietary rumen-protected fat on the characteristics of Comisana ewes milk. Small Rum. Res., 30, 139-147.

Rousselot M.C., Broqua C.B., de Araujo C., Borgida L.P., 1995. Effets des fibres et des matières grasses protégées sur la composition du lait de chèvre. Renc. Rech. Rum., 2, 225–230.

Rubino R., Moioli R., Fedele V., Pizzilo V., Morand-Fehr P., 1995. Milk production of goats grazing native pasture under different supplementation regimes in southern Italy. Small Rum. Res., 17, 213-221.

Santini F.J., Lu C.D., Potchoiba M.J., Coleman S.W., 1991. Effect of acid detergent fiber intake on early postpartum milk production and chewing activities in dairy goats fed alfalfa hay. Small Rum. Res., 6, 63-71.

Santini F.J., Lu C.D., Potchoiba M.J., Fernandez J.M., Coleman S.W., 1992. Dietary fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats fed alfalfa hay. J. Dairy Sci., 75, 209-219.

Sanz-Sampelayo M.R., Perez L., Boza J, Amigo L., 1998. Forage of different physical form in the diets of lactating granadina goats : nutrient digestibility and milk production and composition. J. Dairy Sci., 81, 492-498.

Sauvant D., Bas P., 2001. La digestion des lipides chez le ruminant. INRA Prod. Anim., 14, 303-310.

Sauvant D., Morand-Fehr P., 1977. Influence of nutrient levels in concentrates during a full lactation on the performance of goats. In: Symposium on Goat Breeding in Mediterranean countries. p 174-181. 3-7 October. Malaga-Grenada-Murcia; Spain.

Sauvant D., Morand-Fehr P., 2000. Quantitative analysis of dairy goat response to concentrate supply. In: 7th Intern. Conf. On Goats. p 80-81. 15-21 May 2000. Tours, France.

Schmidely P., Lloret-Pujol M., Bas P., Rouzeau D., Sauvant D., 1999. Influence of feed intake and source of dietary carbohydrate on milk yield and composition, nitrogen balance, and plasma constituents of lactating goats. J. Dairy Sci., 82, 747-755.

Schmidely P., Bas P., Rouzeau A., Sauvant D., 2001. Influence de l'incorporation de graines de soja extrudées et de bicarbonate de sodium sur la composition en acides gras de la matière grasse du lait de chèvre. Renc Rech. Rum. (8) (accepté).

Sevi A., Rotunno T., di Caterina R., Muscio A., 1998. Rumen protected methionine or lysine supplementation of Comisana ewes' diets: effect on milk fatty acid composition. J. Dairy Res., 65, 413-422.

Spector A.A., 1999. Essentiality of fatty acids. Lipids, 34 (suppl), S1- S4.

Tamminga S., Doreau M., 1991. Lipids and rumen digestion. In: Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. J. P. Jouany, (Ed). INRA, Paris.

Teh T.H., Trung L.T., Jia Z.H., Gipson T.A., Ogden K.B., Sweeney T.F., 1994. Varying amounts of rumen-inert fat for high producing goats in early lactation. J. Dairy Sci. 77:253-258.

Wilkinson R.G., Fry V.E., Sinclair L.A., 2000. Effect of untreated and formaldehyde treated whole linseed on the performance and fatty acid composition of milk produced by Friesland ewes. Proc. Br. Soc. Anim. Sci., 152A.

Wolff R.L., 1994. Contribution of trans-18:1 acids from dairy fat to European diets. J. Am. Oil. Chem. Soc., 71, 277-283.

Wolff R.L., 1995. Content and distribution of trans-18:1 acids in ruminant milk and meat fats. Their importance in European diets and their effect on human milk. J. Am. Oil Chem. Soc., 72, 259-272.

Woo A.H., Lindsay R.C., 1984. Concentration of major free fatty acids and flavor development in Italian cheese varieties. J. Dairy Sci., 67, 960-968.

Zervas G., Fegeros K., Koytsotolis K., Goulas C., Mantzios A., 1998. Soy hulls as a replacement for maize in lactating dairy ewe diets with or without dietary fat supplements. Anim. Feed Sci. Technol. , 76, 65-75.

Abstract

Fat content yield and composition of milk in small ruminants: effects of concentrate level and addition of fat.

Effects of concentrate level and addition of fat were quantified from a data base recording milk fat content and yield, and fatty acid composition of milk in dairy sheep and goats.

Increasing concentrate level decreases milk fat content, more intensively in total mixed rations than in rations where concentrate and forage were fed separately. In these last mentioned rations, fat yield response to concentrate was curvilinear showing a forage: concentrate ratio 1:1 to maximise fat yield. In these conditions, percentages of short and medium chain fatty acid were not affected, whereas percentages of long chain saturated and mono unsaturated (cis) fatty acids were dramatically reduced in favour of trans mono-unsaturated fatty acids and linoleic acid.

Addition of non protected fat increased milk fat content and yield in a similar way for seeds and animal fat. With non protected fish or vegetable oils, these responses were highly variable, depending on the decrease in the synthesis of short and medium chain fatty acids and on the increase in long chain fatty acids. Concentrations of linoleic, linolenic and CLA in milk may only be slightly increased with seeds or rapeseed oil. Non protected fish oil weakly increased long chain poly-unsaturated fatty acids in milk.

The increase in milk fat content with the addition of calcium salts of fatty acids (mainly from palm oil) was more marked for ewes than for goats; fat yield was increased similarly in the two species with addition of up to 150 g/d of calcium salts. Calcium soaps reduced percentages of medium chain fatty acids, but not that of short chain fatty acids, nor that of palmitic acid in milk; milk concentration of stearic and more markedly oleic acid were increased with these calcium salts of fatty acids.

Encapsulated seed or fish oils limited the decrease in short and medium chain fatty acids observed when the same non protected fat oils are used. They also reduced stearic and oleic acid contents in favour of trans fatty acids. In these conditions, transfer efficiency of linoleic and linolenic acids in milk increased according to the content of these acids in the seeds. Encapsulation is a moderately efficient way to increase the transfer of poly-unsaturated fatty acids of fish oil, or feed CLA, to milk.

Moreover, the paper shows the lack of experimental data on nutritional factors allowing to control the composition of milk fat in sheep and goats, especially concerning fatty acids having a potential effect on human health.

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