

Données récentes sur les effets de l'alimentation sur la composition en acides gras du lait de vache, de chèvre et de brebis

CHILLIARD Y. (1), GLASSER F. (1), ENJALBERT F. (2), FERLAY A. (1), BOCQUIER F. (3), SCHMIDELY Ph. (4)

(1) INRA, UR1213 Herbivores, Equipe Tissu Adipeux et Lipides du Lait, Site de Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France (Yves.Chilliard@clermont.inra.fr)

(2) INRA-INPT-ENSAT-ENVT, Université de Toulouse, UMR1289, Tissus Animaux, Nutrition, Digestion, Ecosystème et Métabolisme, Chemin de Borde-Rouge-Auzeville, BP 52627, F-31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

(3) UMR - Elevage des Ruminants en Régions Chaudes (UMR_868) Campus Agro_M-INRA de Montpellier, Bâtiment 22 ; 2, Place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France

(4) INRA-Institut National Agronomique Paris-Grignon, 16, rue Claude Bernard, F-75231 PARIS cedex 05, France

RESUME – Après un rappel des principaux phénomènes digestifs et métaboliques qui concourent à la synthèse des matières grasses du lait, cette revue fait le point des données récentes sur les effets de l'alimentation sur la composition en acides gras (AG) du lait de vache, de chèvre et de brebis. Ces données sont issues de la bibliographie ainsi que de deux bases de données développées à l'INRA. Elles confirment la forte plasticité du profil en AG du lait de ruminant, notamment pour les AG saturés (C10 à C18), l'acide oléique (9c-18:1), l'acide vaccénique (11t-18:1) et d'autres isomères *trans* du 18:1 et du 18:2. Par rapport à des rations riches en concentrés et / ou en ensilage de maïs, les rations à base d'herbe (pâturée ou correctement conservée) diminuent les AG saturés au profit des 9c- et 11t-18:1, et dans une moindre mesure, du 18:3 n-3 et du 9c11t-CLA. Les suppléments d'huiles ou graines oléagineuses ont des effets similaires, parfois plus marqués, mais ils augmentent aussi d'autres isomères *trans* du 18:1 et du 18:2, notamment lorsqu'ils sont ajoutés à des rations riches en concentrés et / ou en ensilage de maïs. Les huiles et graines riches en 18:2 n-6 (tournesol, soja,...) accroissent en particulier le 10t-18:1 et les 10t12c-, 8t10c-, 7t9c- et 9t11c-CLA, alors que celles qui sont riches en 18:3 n-3 (lin) accroissent notamment le 13t / 14t-18:1 et les 9c12t-, 9c13t- et 11t15c-18:2. La chèvre est moins sujette que la vache à la déviation du 11t- vers le 10t-18:1, ce qui explique probablement la stabilité et l'ampleur élevées des réponses à la supplémentation lipidique des 11t-18:1 et 9c11t-CLA de son lait, y compris avec des rations riches en concentrés. En outre, elle semble mieux répondre que la vache à la supplémentation en 18:3 n-3. La brebis, alimentée principalement dans les études publiées avec des fourrages méditerranéens, produit un lait plus riche en 18:3 n-3, 11t-18:1 et 9c11t-CLA que la vache au pâturage en zone tempérée.

Recent data on the effects of feeding factors on milk fatty acid composition in the cow, goat and ewe

CHILLIARD Y. (1), GLASSER F. (1), ENJALBERT F. (2), FERLAY A. (1), BOCQUIER F. (3), SCHMIDELY Ph. (4)

(1) INRA, UR1213 Herbivores, Equipe Tissu Adipeux et Lipides du Lait, Site de Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France (Yves.Chilliard@clermont.inra.fr)

SUMMARY – This review gives an update of available data on the effect of nutrition on milk fatty acid (FA) composition in the dairy cow, goat and ewe. It starts by an overview of the main digestive and metabolic pathways involved in the milk fat secretion processes. The data used originated from literature and from two databases developed by INRA. Altogether, the analyses confirm the wide plasticity of milk FA profiles in dairy ruminants, peculiarly for the saturated FA (10 to 18 carbon), oleic (9c-18:1) and vaccenic (11t-18:1) acids, and other *trans* isomers of 18:1 and 18:2. Comparing the effects of diets with large amounts of concentrate and/or maize silage with grass-based diets (grazed or correctly preserved) shows a decrease in saturated FA, at the expense of 9c- and 11t-18:1, and to a lesser extent, 18:3 n-3 and 9c11t-CLA. Dietary supplements of plant oil or oilseeds have similar effects, sometimes more marked, but they simultaneously increase other *trans* isomers of 18:1 and 18:2, especially when added to maize silage and/or high-concentrate diets. Oils or seeds rich in 18:2 n-6 (sunflower, soybean,...) increase particularly 10t-18:1, and 10t12c-, 8t10c-, 7t9c- and 9t11c-CLA, whereas those rich in 18:3 n-3 (linseed) enhance notably 13t/14t-18:1, and 9c12-, 9c13- and 11t15-18:2. When comparing goats' with cows' results, it seems that they are less sensitive to the 11t- to 10t- shift, thus explaining the good stability and the large magnitude of the responses of their milk 11t-18:1 and 9c11t-CLA content to lipid supplementation of high-concentrate diets. Furthermore, goats seem to respond better than cows to a 18:3 n-3 supplementation. Dairy ewes, mostly fed Mediterranean forages in published studies, yield milk with higher 18:3 n-3, 11t-18:1 and 9c11t-CLA than those of cows grazing pasture in temperate areas.

INTRODUCTION

L'importance quantitative de la consommation de matières grasses laitières (en 2004, environ 47 g / j / Français, dont 45 g d'origine bovine, le reste se partageant entre les produits ovins et caprins), et sa teneur élevée en acides gras (AG) saturés (AGS), en font le principal vecteur de la consommation de ces AG dont certains sont athérogènes lorsqu'ils sont consommés en excès. D'autres AG, spécifiques des produits de ruminants, pourraient toutefois avoir des effets, favorables ou non (certains AG *trans*, conjugués, ramifiés, ...), qui restent à confirmer chez l'homme (AFSSA, 2005). Il est donc important de connaître les facteurs de

variation de la composition en AG des matières grasses laitières, et sa plasticité éventuelle. Celle-ci dépend de facteurs intrinsèques (génotype, stade de lactation, ...) ou extrinsèques (conditions environnementales).

Les effets liés à la race ou au génotype sont significatifs, mais d'ampleur limitée, et ne peuvent être obtenus qu'à moyen terme ou en interaction avec les contraintes inhérentes aux autres critères à sélectionner. L'effet du stade de lactation est marqué, principalement lié à la mobilisation des réserves lipidiques en début de lactation, mais celle-ci ne dure que quelques semaines par an et par vache, notamment chez les plus fortes productrices. Cet effet est donc largement

tamponné dans les laits de mélange (troupeau, tournée de collecte, lot de fabrication), surtout lorsque les vèlages ne sont pas groupés au sein d'une même zone de collecte.

Les fluctuations saisonnières sont quantitativement importantes, et sont dues pour l'essentiel aux modifications de l'alimentation, qui sont l'objet de la présente synthèse. Les effets de la technologie beurrière ou fromagère sur la composition en AG des produits laitiers sont minimes par rapport à ceux de l'alimentation des ruminants et ne sont donc pas présentés dans cette revue.

1. RAPPEL DES PHENOMENES DIGESTIFS ET METABOLIQUES

1.1. DIGESTION

Les acides gras les plus abondants dans la ration des ruminants sont les 9c-18:1, 18:2 n-6 (ou 9c12c-18:2, cf. annexe nomenclature) et 18:3 n-3 (ou 9c12c15c-18:3).

La digestion ruminale des galactolipides, phospholipides et triglycérides alimentaires commence par une lipolyse. Les savons calciques d'AG peuvent quant à eux subir une dissociation partielle. Les AG libérés subissent ensuite une isomérisation et une biohydrogénation, dont les principales voies sont résumées sur la figure 1 pour les AG polyinsaturés (AGPI).

La biohydrogénation du 18:2 n-6 et du 18:3 n-3 commence par une isomérisation suivie de réductions conduisant au 18:0. La dernière réduction est plus lente que les précédentes, si bien que le flux digestif sortant du rumen contient davantage de 18:1 *trans* que de 18:2 et 18:3 *trans*. Les deux voies principales de biohydrogénation des AGPI sont les voies 10*t* et 11*t*, cette dernière étant dominante avec la majorité des rations utilisées en France. Mais d'autres voies conduisent à d'autres isomères de position de 18:1 et 18:2 *trans*, tant avec des rations riches en 18:2 n-6, qu'avec des rations riches en 18:3 n-3 qui donnent ainsi lieu à la formation de doubles liaisons 13*t* ou 14*t*. L'hydrogénation ruminale du 9c-18:1 est surtout directe, conduisant à du 18:0, mais une isomérisation en 18:1 *trans* allant du 6*t*- au 16*t*-18:1, principalement 9*t*, est possible.

L'hydrogénation entraîne la disparition de plus de 70 % du 9c-18:1, plus de 80 % du 18:2 n-6 et plus de 90 % des 18:3 n-3, 20:5 n-3 et 22:6 n-3, indépendamment de la quantité d'AG insaturés ingérés. L'importance de la biohydrogénation de 18:2 n-6 est plus faible avec les rations riches en concentrés, en raison du plus faible pH ruminal ou de la teneur élevée en amidon. Les traitements thermiques de graines oléagineuses et la présentation des AG sous forme de savons calciques ont des effets le plus souvent faibles sur l'importance de la biohydrogénation. L'enrobage des lipides par des protéines traitées par du formol apporte une bonne protection, mais n'a pas aujourd'hui d'application commerciale pour des AG de graines oléagineuses en France. Récemment, des émulsions de protéines de lactosérum ont permis d'augmenter le transfert d'AGPI d'huile de soja vers le lait de vache.

Dans la mesure où la voie 10*t* est probablement en partie réalisée par une ou plusieurs bactéries amylolytiques, les rations riches en amidon et / ou entraînant un abaissement du pH ruminal conduisent à une forte production d'isomères 10*t*. Au contraire, les rations pauvres en concentrés conduisent à une forte proportion d'isomères 11*t*. Un apport important de 18:2 n-6 ou 18:3 n-3 limite la réduction de 18:1 *trans* en 18:0, d'où une augmentation de proportion de 18:1

trans dans le contenu ruminal.

Le bilan quantitatif de la digestion ruminale est positif avec des rations pauvres en lipides, en raison d'une synthèse d'AG, entre autres à nombre impair d'atomes de carbone, linéaires ou ramifiés. Il est négatif avec des rations riches en lipides, le point d'équilibre étant en moyenne observé pour des rations expérimentales contenant 5 % d'AG par rapport à la matière sèche ingérée. La digestibilité intestinale des AG est en moyenne comprise entre 70 et 75 %, mais peut aller de 50 à plus de 90 %. Elle n'est pas diminuée lorsque le flux d'AG entrant dans l'intestin augmente, jusqu'à 1,5 kg par jour au moins chez la vache laitière.

1.2. METABOLISME

Chez le ruminant, la lipogénèse *de novo* a lieu essentiellement, dans les tissus mammaire et adipeux. La quantité d'AG libérés du tissu adipeux chez une vache en début de lactation peut dépasser 2 kg par jour, et augmente avec le potentiel de production et l'état d'engraissement des vaches. Ces AG sont riches en 18:0 et 9c-18:1.

La glande mammaire prélève des AG dans le sang artériel, principalement parmi les AG à 16 et 18 carbones, non estérifiés et des triglycérides. Elle synthétise en outre des AG ayant de 4 à 16 carbones, principalement à partir d'acétate et de β-hydroxybutyrate provenant de la fermentation ruminale des glucides. Lorsque le prélèvement mammaire d'AG à 16 et 18 carbones s'accroît, du fait d'une supplémentation lipidique ou d'une mobilisation du tissu adipeux, on observe une diminution de synthèse d'AG exprimée en g / kg de lait. La synthèse mammaire des AG est très fortement inhibée par le 10*t*12c-18:2, en interaction probable avec d'autres AG *trans*. De ce fait, la distribution aux animaux de mélanges d'acides linoléiques conjugués (CLA) de synthèse, contenant du 10*t*12c-18:2 partiellement protégé de la digestion ruminale, permet de diminuer le taux butyreux du lait.

La glande mammaire est capable de désaturer environ 50 % du 18:0 prélevé dans le sang en 9c-18:1, et 10 à 40 % du 11*t*-18:1 d'origine ruminale prélevé au niveau sanguin en 9c11*t*-CLA. Cette désaturation mammaire représente la principale source de CLA du lait (80 à 95 %) loin devant le prélèvement artériel de CLA d'origine ruminale, d'où une liaison très forte entre les teneurs en 11*t*-18:1 et 9c11*t*-CLA dans le lait.

En conclusion, la biohydrogénation ruminale sature partiellement ou totalement la majorité des AG insaturés de la ration, et conduit à des intermédiaires *trans*, principalement 11*t*, 10*t* et dans une moindre mesure 13*t*, l'équilibre entre ces trois familles dépendant en partie de l'équilibre fibres-amidon-lipides de la ration. La mamelle désature une partie des AG (saturés notamment) qu'elle synthétise ou prélève dans le sang, compensant ainsi en partie les effets de la biohydrogénation ruminale, mais sans permettre la reconstitution de 18:2 n-6 ou 18:3 n-3.

2. VACHE LAITIÈRE

Les lipides du lait de vache sont constitués de 96 % à 98 % de triglycérides. La somme des AGS pairs (entre 4 et 22C), des AGS impairs et ramifiés, des AG monoinsaturés (AGMI) et des AGPI représente respectivement, en moyenne, environ 69 %, 5 %, 26 % et 4 % des AG totaux (% AGT, ou g / 100 g d'AGT) du lait (en absence de supplémentation lipidique). Les isomères *trans* 18:1 et 18:2

représentent moins de 4 % AGT. Les AGS pairs à chaîne courte (4C à 8C) et ceux à chaîne moyenne (10C à 14C) représentent approximativement 7 et 20 % AGT. Les proportions des acides palmitique et stéarique sont, respectivement, de 32 et 10 % AGT, alors que celles des AGS pairs longs (≥ 20 C) sont très faibles (moins de 0,5 % AGT).

Le 9c-18:1 représente environ 73 % des AGMI totaux. Ceux-ci contiennent aussi d'autres isomères *cis* du 18:1, du 9c-16:1 et du 9c-14:1 pouvant représenter chacun jusqu'à 1,5 % AGT. Les AGMI *trans* sont essentiellement représentés par les AG à 18 C qui constituent environ 2,5 % AGT. Derrière l'isomère 11*t*- majoritaire (environ 1,4 % AGT), les isomères 13*t*+ 14*t*- et 10*t*- peuvent représenter chacun jusqu'à 0,5 % AGT.

Les 18:2 non conjugués sont essentiellement représentés par le 18:2 n-6 dont la teneur moyenne est de 2,2 % AGT. Des isomères *trans* non conjugués sont également rapportés: principalement les 9*t*12*t*-, 9c13*t*-, 11*t*15c- (représentant chacun de 0,1 à 0,2 % AGT). Parmi les 18:2 conjugués (CLA), l'isomère quantitativement le plus important est le 9c11*t*-CLA (0,5 % AGT soit environ 85 % du CLA total. Le second isomère identifié est le 7*t*9c qui peut représenter de 5 à 10 % du CLA total. Les teneurs en 18:3 n-3 sont faibles (0,5 % AGT).

L'alimentation est un moyen naturel et économique permettant aux éleveurs de moduler fortement et rapidement la composition des AG du lait, notamment *via* l'apport de suppléments lipidiques dans la ration. Toutefois, la part des suppléments lipidiques dans l'alimentation des vaches laitières reste modeste dans les élevages laitiers et ce sont les variations de la nature et des proportions respectives des fourrages (et notamment de l'herbe pâturée) et des aliments concentrés riches en glucides et en protéines qui jouent un rôle déterminant pour les variations de la composition en AG des laits de grand mélange.

2.1. EFFETS D'UNE ALIMENTATION AU PATURAGE

Dans les pays tempérés, l'herbe fraîche contient de 1 à 3 % d'AG, composés de 50 à 75 % de 18:3 n-3, avec des maxima observés au printemps et en automne (pousse et repousses). Les teneurs de l'herbe en AG et en 18:3 n-3 varient rapidement en début de saison, expliquant que le lait soit plus riche en 18:0, 9c-18:1, 11*t*-18:1, 9c11*t*-CLA et 18:3 n-3, trois semaines plutôt que six semaines après la mise à l'herbe. La mise à l'herbe ou inversement le passage du pâturage à l'alimentation hivernale modifient très rapidement (en 4-6 jours) la composition en AG du lait.

La substitution isoénergétique d'une ration ensilage de maïs / tourteau de soja (82 / 18) par une ration herbe / céréales (82 / 18) augmente le 18:0, le 9c-18:1, le 11*t*-18:1, le 9c11*t*-CLA et le 18:3 n-3 du lait de 3, 7, 3, 1,2 et 0,6 % AGT (respectivement) et diminue les AGS pairs de 4 à 14C et surtout le 16:0 (-13 % AGT). Toutefois, des teneurs en 18:3 n-3 ne dépassant pas 1 % sont fréquemment observées au pâturage, probablement lorsque le stade de végétation de l'herbe est plus avancé. Par ailleurs la teneur en 11*t*15c-18:2 (intermédiaire de biohydrogénation ruminale du 18:3 n-3) est plus élevée au pâturage ($> 0,4$ % AGT) qu'avec les régimes hivernaux ($< 0,1$ %).

L'augmentation de la part du pâturage dans la ration permet des réponses généralement linéaires d'augmentation des teneurs en 18:3 n-3, 11*t*-18:1 et 9c11*t*-CLA du lait, et de diminution des teneurs en AGS de 10 à 16 C. Ainsi, lorsque

le pâturage passe de 30 % à 100 % de la ration, les teneurs en 18:3 n-3 et 9c11*t*-CLA du lait sont doublées ou triplées.

Un suivi de tournées de ramassage en Haute-Loire montre que le pâturage de prairie permanente de montagne, comparé à un système de plaine à base de pâturage (2 / 3) et ensilage de maïs (1 / 3), diminue dans le lait le 16:0 (-4,6 % AGT) et augmente les monoinsaturés *trans* à 16C et 18C (+ 2 % AGT), le 9c11*t*-CLA (+ 0,8 % AGT) et le 18:3 n-3 (+ 0,3 % AGT). Des gradients de richesse en ces mêmes AG sont observés dans les Alpes et le Massif Central entre alpage > prairie permanente de première utilisation > prairie permanente de seconde utilisation > prairie temporaire > ensilage d'herbe > foin > ensilage de maïs.

Les augmentations plus marquées du 18:3 n-3 et du 9c-18:1 dans les laits d'alpage pourraient être dues à des particularités de la flore alpine (réduisant la biohydrogénation ruminale), et / ou à une sollicitation plus poussée des lipides corporels, riches en 9c-18:1. Par ailleurs, le pâturage d'espèces végétales riches en tannins, comparé à celui de *ray-grass*, accroît les teneurs des 12:0, 14:0, 16:0, 18:2 n-6 et 18:3 n-3 et diminue celles des 9c-18:1, 11*t*-18:1 et 9c11*t*-CLA, en raison d'une réduction de la biohydrogénation ruminale par les tannins.

2.2. EFFETS DE LA NATURE DES FOURRAGES CONSERVES, ET DU POURCENTAGE DE CONCENTRE

Le fanage de l'herbe en foin s'accompagne d'une baisse sensible de sa teneur en AG et surtout en 18:3 n-3, en raison d'une part de l'oxydation de cet AG et d'autre part de la perte relative de feuilles, qui sont plus riches que les tiges. De ce fait, la teneur du foin en 18:3 n-3 peut être inférieure de l'ordre de 50-75 % à celle de l'ensilage.

Toutefois, le lait de vaches nourries au foin peut être plus riche en 18:2 n-6 et 18:3 n-3 que lorsqu'elles reçoivent de l'ensilage d'herbe. Ceci peut être expliqué par une hydrogénation ruminale plus faible avec le foin qu'avec l'herbe. Par ailleurs des foins provenant d'une herbe de qualité et séchés en grange peuvent avoir des teneurs élevées en AG et en 18:3 n-3 permettant la production d'un lait plus riche en 18:3 n-3 que le pâturage, et plus riche en 11*t*-18:1 et 9c11*t*-CLA que l'ensilage d'herbe. L'enrubannage et l'ensilage donnent des résultats comparables.

L'ensilage de trèfle violet ou blanc, comparé à l'ensilage de graminées, permet d'augmenter les teneurs du lait en 18:2 n-6 et en 18:3 n-3 de 0,4 et 0,6 % AGT, respectivement. Les laits issus de l'agriculture biologique présentent des teneurs sensiblement plus élevées en 18:3 n-3 et en 9c11*t*-CLA. L'effet sur le 9c11*t*-CLA n'est toutefois pas observé dans des études à plus grande échelle en Europe du Nord. L'utilisation importante de légumineuses dans les élevages bio pourrait expliquer l'effet observé sur le 18:3 n-3.

L'ensilage de maïs est pauvre en 18:3 n-3 et riche en 18:2 n-6 et en 9c-18:1. Ceci explique qu'il augmente fortement le rapport n-6 / n-3 du lait par rapport à l'ensilage d'herbe, sans modifier le 9c11*t*-CLA ou en l'augmentant légèrement.

L'effet de l'augmentation du % de concentré de la ration n'est pas linéaire. On peut en effet distinguer dans la bibliographie des essais avec un lot témoin soit riche (86 %, RF) soit assez pauvre (56 %, PF) en fourrages, respectivement. Dans le groupe RF, l'augmentation du % de concentré (+ 33 % de la MSI) augmente fortement la production de lait et de matière grasse et ne diminue que légèrement le taux butyreux, tout en augmentant les

pourcentages des AG de 8 à 14C, de 18:2 n-6, et en diminuant ceux des *cis*-18:1, 11t-18:1 et 18:3 n-3. Dans le groupe PF, une augmentation similaire du % de concentré (+ 37 %) n'augmente pas la production de lait et diminue fortement le taux butyreux et la production de matière grasse, tout en diminuant les pourcentages des AGS pairs et surtout du 18:0, et en augmentant ceux des 18:1 *trans*, et du 18:2 n-6.

On peut donc en conclure que l'augmentation du % de concentré a des effets très différents, et parfois opposés, sur le profil des AG du lait selon qu'elle s'opère sur des rations riches ou pauvres en fourrages. Les seuls points communs entre les deux groupes sont les augmentations des 18:2 n-6 et 10t-18:1 (respectivement 1,7 et 1,1 % AGT, en cumulant les variations des groupes RF et PF). Il existe également d'importantes interactions fourrages-concentrés amylo-lipides sur les AG du lait (*cf. infra*).

2.3. EFFETS D'APPORTS DE MATIERES GRASSES VEGETALES

La supplémentation lipidique des rations a été utilisée depuis des décennies en recherche, et dans une certaine mesure en élevage, pour modifier les performances et le métabolisme énergétique des vaches laitières et / ou la composition en AG du lait. Une partie de ces effets zootechniques est de nature, dans le système actuel de paiement du lait, à modifier les résultats économiques de l'éleveur. Les tentatives pour modifier le pourcentage d'une catégorie d'AG se traduisent par des modifications simultanées d'autres AG, qui peuvent être considérés comme favorables ou défavorables à la santé humaine. Ainsi, les régimes qui diminuent la teneur en AG saturés du lait et accroissent les AGPI ou le CLA entraînent généralement un accroissement des 18:1 *trans*.

Les effets des suppléments lipidiques sont évalués en compilant les résultats extraits d'une base de données bibliographiques (270 lots de vaches supplémentées et 140 lots de vaches non supplémentées, *cf.* tableau 1), ainsi qu'en utilisant des résultats d'études spécifiques (bibliographie et tableau 2).

2.3.1. Acides gras saturés et acide oléique du lait

Lorsque la disponibilité en AG à 18 atomes de carbone augmente en raison d'un apport alimentaire accru, on assiste à une diminution de la sécrétion et surtout des teneurs en AG à chaîne moyenne (de 8:0 à 14:0 ou 16:0).

Le potentiel de diminution des AG de 10:0 à 16:0 est considérable. Par exemple, ces 4 AG passent de 56 à 29 % AGT après addition de 5 % d'huile de lin à une ration à base de foin. Parmi les 8 types d'apports d'huiles oléagineuses étudiés dans la base de données, les plus faibles valeurs de 6:0 à 16:0 sont observées avec les huiles de tournesol et, surtout, de lin. Inversement, avec des suppléments lipidiques riches en certains AG à chaîne moyenne (comme les savons de calcium d'huile de palme riches en 16:0), les teneurs en AG correspondants sont augmentées dans le lait.

La sécrétion de 18:0 dans le lait peut être accrue soit par un apport de 18:0 alimentaire, soit par l'apport d'AG insaturés à 18 atomes de carbone en raison de leur hydrogénation totale ou partielle en 18:0 dans le rumen. Il en est de même pour le 9c-18:1, soit d'origine alimentaire (pour environ 20 %), soit issu de la synthèse dans la mamelle (pour environ 80 %) par la désaturation de 18:0.

La distribution d'huiles végétales non protégées, riches en acides oléique, linoléique ou linoléinique, ou de graines oléagineuses, accroît fortement les proportions de 18:0 et

9c-18:1 du lait. Ainsi, la distribution de lipides de tournesol, de colza ou de lin (1,5 à 3 % de la ration, sous forme d'huile ou de graines) permet de multiplier, de façon dose-dépendante, par 1,18 à 1,35 la teneur en 9c-18:1 du lait (voir par exemple tableau 2). Toutefois, la distribution d'huiles végétales non protégées entraîne par ailleurs un accroissement de la production de 18:1 *trans* dans le rumen et dans le lait, en particulier avec les huiles riches en AGPI (*cf. infra*).

Les réponses des AG saturés et du 18:1 *cis* à l'enrichissement des rations soit en 18:2 n-6 soit en 18:3 n-3 sont estimées dans le tableau 1. On observe que les pentes des droites de régression (accroissement du pourcentage de l'AG du lait lorsque l'AGPI alimentaire augmente de 1 g / kg de MSI) sont très voisines pour les deux types d'apports d'AGPI, que ce soit pour les 4:0-14:0 (- 0,37 à 0,38), le 16:0 (- 0,41), le 18:0 (+ 0,19 à 0,21) ou le *cis*-18:1 (+ 0,29 à 0,32).

2.3.2. Acides gras polyinsaturés du lait

Avec les rations non supplémentées en lipides, la proportion de 18:2 n-6 dans les AG du lait est généralement comprise entre 2 et 3 %. Lorsque les rations sont enrichies en graines ou huiles riches en 18:2 n-6 comme celles de soja ou de tournesol, ce pourcentage s'accroît généralement de 0,5 à 1,5 %. Toutefois des réponses plus élevées ont été observées avec des graines de soja extrudées (+ 1,9 % AGT), micronisées (+ 2,4 % AGT) ou toastées (+ 3,0 % AGT).

Il est souvent dit qu'un moyen de limiter l'hydrogénation ruminale est la distribution des lipides sous forme de graine plutôt que d'huile, car l'enveloppe des graines limiterait l'accessibilité des lipides aux bactéries. Ainsi, la supplémentation en graines de soja crues ou traitées accroît plus fortement que l'huile la teneur en 18:2 n-6 du lait. Les résultats sont toutefois contradictoires entre études et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces tendances car il n'existe que peu de comparaisons directes entre huile et graine.

La réponse du 18:2 « total » à l'enrichissement des rations en 18:2 n-6 (tableau 1) est globalement non significative avec les lipides non protégés, mais avec une pente de 0,25 lorsqu'ils sont protégés. On ne peut toutefois pas exclure qu'une partie de la réponse du 18:2 « total » soit due à des isomères *trans*.

En Europe, mis à part les fourrages, seul le lin permet des apports importants de 18:3 n-3, qui représente plus de 50 % des AG de cette graine. A titre de comparaison, une vache consommant 20 kg de MS par jour peut ingérer quotidiennement jusqu'à 400 g de 18:3 n-3 sur pâturage de printemps ou d'automne, et la même quantité si elle reçoit une ration hivernale additionnée de 3,7 % d'huile de lin (ou 12 % de graine de lin).

En supplémentant la ration des vaches en graine ou en huile de lin, l'accroissement de la teneur en 18:3 n-3 du lait varie entre + 0,3 et 0,9 % AGT selon les études, et les 21 études de la base de données indiquent une réponse moyenne de + 0,5 % AGT. Par ailleurs l'introduction de 1,5 ou 3 % d'huile de lin dans la ration ne permet pas une augmentation du 18:3 n-3 du lait proportionnelle à la quantité ingérée par les vaches (tableau 2). L'ensemble des résultats suggère que la graine de lin, crue ou extrudée, n'augmente pas plus que l'huile la teneur en 18:3 du lait. La proportion de 18:3 n-3 atteinte est plus faible que celles observées chez des vaches pâturant une herbe de bonne qualité (*cf. supra*).

Le colza contient également du 18:3 n-3 (environ 7 % AGT), mais comme pour le 18:2 n-6, l'apport de graine ou d'huile de colza non protégés ne permet pas d'accroître significativement le 18:3 n-3 du lait. Par contre la graine de soja, dont les lipides contiennent environ 8 % de 18:3 n-3, permet d'accroître le 18:3 n-3 du lait (+ 0,3 % AGT dans la base de données, voire 0,6-0,7 % AGT lorsqu'elles sont toastées ou micronisées).

La réponse du 18:3 « total » à l'enrichissement des rations en 18:3 n-3 (tableau 1) est globalement significative mais très faible (pente de 0,021).

2.3.3. Acides gras *trans* et CLA du lait

La composition des laits en CLA et en 18:1 *trans* dépend de deux facteurs principaux: (1) l'apport alimentaire d'AGPI (18:2 n-6 ou 18:3 n-3) pour la formation de CLA et de 18:1 *trans* dans le rumen, et (2) les régimes modifiant l'activité microbienne d'hydrogénation ruminale de ces AG. Les combinaisons de ces facteurs provoquent de très larges variations des teneurs des AG du lait en CLA et en 18:1 *trans* (jusqu'à 4-5 % de 9c11t-CLA et 10-12 % de 11t-18:1). Il existe de fortes interactions entre fourrages, concentrés amylicés et suppléments lipidiques (*cf. infra*).

Les huiles végétales riches en 18:2 n-6 (tournesol, soja) ou 18:3 n-3 (lin) augmentent fortement la teneur en CLA du lait. Cet effet est linéaire lors d'addition de quantités croissantes d'huile à la ration (jusqu'à 3-4 % de la MS, au moins), avec une réponse d'environ 0,4 % AGT par point d'augmentation de la teneur en lipides de la ration pour le soja, le tournesol ou le lin (voir par exemple tableau 2). Cet effet s'explique par une forte augmentation de la production de 11t-18:1 dans le rumen, qui est ensuite prélevé par la mamelle, et désaturé en 9c11t-CLA par la delta-9 désaturase. Par contre, une huile riche en 9c-18:1 (olive, colza, ...) n'augmente que plus faiblement la sécrétion de 9c11t-CLA. Les réponses de 18:1 *trans* et 9c11t-CLA calculées dans le tableau 1 sont peu significatives, en raison du faible nombre de données disponibles et / ou de la grande dispersion des valeurs observées entre expérimentations différentes.

De manière générale, les huiles végétales élèvent davantage le taux de CLA dans le lait que les graines extrudées, elles-mêmes agissant davantage que les graines crues. Les graines diminuent moins la sécrétion lipidique mammaire et accroissent plus fortement la teneur en 18:0 du lait, et moins fortement celle en 18:1 *trans*, lorsqu'on les compare aux huiles correspondantes. Il semble donc que l'hydrogénation soit plus complète lorsque les lipides sont apportés dans les graines, probablement parce qu'une libération progressive perturbe moins l'écosystème ruminal qu'un apport d'huile, ou en raison d'un temps de séjour plus long dans le rumen.

Il n'y a que peu de données sur l'influence de l'alimentation sur les différents isomères *trans* du 18:1 et du 18:2 (conjugués ou non) du lait. La teneur en 9c11t-CLA est généralement celle qui varie le plus, en raison de l'importance de sa synthèse mammaire par la delta-9 désaturase. Toutefois, un niveau élevé de 9c-18:1 alimentaire accroît notamment les 6 / 7 / 8t-18:1 et 7t9c-CLA du lait; une ingestion de 18:2 n-6 accroît les 6 / 7 / 8t, 9t-, 10t-, 12t-18:1 et 10t12t-, 9t11t-, 8t10t-, 7t9t-, 10t12c-, 9t11c-, 8t10c-, 7t9c-CLA; et le 18:3 n-3 augmente les 15c-, 13 / 14t-, 15t-, 16t-18:1, 9c12t-, 9c13t-, 11t15c-18:2, et 9t11t-, 12t14t-, 11t13t-, 12t14c-, 11t13c-, 11c13t-CLA, ainsi que certains isomères conjugués du 18:3.

Ces effets sur les différents isomères *trans* sont plus marqués avec les huiles qu'avec les graines et s'expliquent par la biohydrogénation ruminale partielle des AG alimentaires, combinée à la delta-9 désaturation mammaire des 7t-, 12t- et 13t-18:1 notamment. Les rôles physiologiques respectifs de ces différents isomères et leur éventuel intérêt nutritionnel pour l'homme n'ont pas ou très peu été étudiés à ce jour.

2.4. INTERACTIONS ENTRE L'APPORT DE LIPIDES ET LES AUTRES CONSTITUANTS DE LA RATION (POURCENTAGE DE CONCENTRE ET NATURE DES FOURRAGES)

Outre les effets du type de lipides alimentaires, de leur forme de présentation et de la quantité distribuée, il existe de fortes interactions avec la nature des fourrages et le rapport fourrage : concentré de la ration.

La supplémentation en huile de lin interagit significativement avec le rapport fourrage : concentré de la ration, augmentant plus fortement les teneurs du lait en 10t-18:1, 11t15c-18:2 et 18:3 n-3 avec un régime riche en concentré, ou en augmentant plus les 18:0 et 9c-18:1 et diminuant plus le 16:0 avec un régime riche en foin. Les huiles de lin et de tournesol augmentent plus fortement le 9c-18:1 du lait lorsque la ration est basée sur de l'ensilage d'herbe, comparée à l'ensilage de maïs alors que c'est l'inverse pour le 9c11t-CLA et les AGPI (tableau 2). La biohydrogénation ruminale semble donc être moins complète avec l'ensilage de maïs, en raison probablement d'un pH ruminal plus faible et / ou d'une modification de la population microbienne, liés à une chute plus nette du taux butyreux du lait avec le régime ensilage de maïs supplémenté en huiles (tableau 2).

Une constante des essais rapportés ci-dessus est l'augmentation de la teneur du lait en 10t-18:1 avec les régimes riches soit en concentré soit en ensilage de maïs, supplémentés en AGPI. Or ces régimes diminuent fortement le taux butyreux du lait et s'accompagnent aussi d'augmentations faibles mais significatives de sa teneur en 10t12c-CLA, en accord avec les observations montrant que le 10t12c-CLA est accru lorsque les biohydrogénations ruminales sont modifiées par les régimes pauvres en fibres, et qu'il serait un précurseur du 10t-18:1 dans le rumen, aux dépens du 11t-18:1.

Par ailleurs, il a été montré récemment que la réponse des AG du lait à une supplémentation en AGPI varie au cours du temps, avec une forte instabilité lorsque les rations sont riches soit en concentré soit en ensilage de maïs, reflétant probablement des adaptations de la flore responsable de la biohydrogénation ruminale. Ainsi, avec des régimes contenant au moins 25 % d'ensilage de maïs et / ou 50 % de concentrés la réponse du 11t-18:1 et du 9c11t-CLA du lait atteint un maximum après une à deux semaines de supplémentation lipidique puis s'épuise, alors que s'installe progressivement une augmentation, parfois considérable, du 10t-18:1, du 10t12c-CLA et d'autres isomères *trans*.

Par contre, lorsque les régimes sont basés sur de l'ensilage d'herbe, du foin, ou de l'ensilage de légumineuses et du foin, la réponse du 9c11t-CLA du lait aux suppléments lipidiques est stable pendant au moins 3 à 14 semaines, et le 10t-18:1 reste inférieur à 0,7-1,4 % AGT. Après addition d'huile de lin à un régime à base de foin, le 18:3 n-3 du lait augmente légèrement pendant 6 jours puis revient au niveau basal après 9 jours. Ceci suggère que, même en absence de déviation vers le 10t-18:1, la microflore du rumen a besoin de quelques jours pour s'adapter à l'apport d'AGPI.

Il a été montré que l'addition de vitamine E au régime permet d'éviter la déviation vers le 10t-18:1 chez des vaches recevant un régime à base d'ensilage de maïs supplémenté en lin; toutefois, cet effet n'est plus observé si la vitamine E est ajoutée après l'augmentation du 10t-18:1.

3. BREBIS ET CHEVRE LAITIERES

Cette partie a été rédigée à partir de l'exploitation (Schmidely *et al.*) d'une base de données publiée sur les effets de pratiques alimentaires sur la composition en AG du lait (120 lots de chèvres et 127 lots de brebis) ainsi que des résultats obtenus sur 43 lots de chèvres (INRA-URH-Theix). Les données moyennes montrent des différences mineures entre les deux espèces, les principales étant liées à des proportions plus élevées de 10:0 à 14:0, et plus faibles des 18:1 *trans* (principalement l'isomère 11t), du 9c11t-CLA et du 18:3 n-3 chez la chèvre. Il est toutefois probable que ces différences résultent principalement du fait que, dans la base de données, il y a plus de données au pâturage pour les brebis que pour les chèvres.

3.1. EFFETS D'UNE ALIMENTATION AU PATURAGE

La majorité des essais concerne des brebis alimentées sur des pâturages méditerranéens, de valeur nutritionnelle variable en fonction du stade de végétation et contenant parfois des espèces végétales riches en tannins. Les rations à base de pâturage seul ou associé à des concentrés non enrichis en lipides conduisent à des laits ayant des proportions en 18:3 n-3 comprises entre 1,0 à 1,6 % AGT chez la brebis et 0,6 à 0,8 % AGT chez la chèvre. Chez la brebis, cette variation est largement liée à la teneur en 18:3 n-3 des fourrages pâturés, au rythme de + 0,32 % 18:3 n-3 ($\pm 0,17$) par g 18:3 n-3 / kg MSI. Ces rations ne modifient que faiblement la proportion du 18:2 n-6 du lait dans les deux espèces. Par contre, la proportion du 9c11t-CLA est fortement accrue chez les brebis alimentées avec des rations à base de pâturage seul ($1,6 \pm 0,53$ % AGT) ou associé à des concentrés non enrichis en lipides ($1,3 \pm 0,6$ % AGT) par rapport aux rations sans herbe ($0,6 \pm 0,3$ % AGT). A l'inverse, chez la chèvre, les proportions en 9c11t-CLA du lait sont légèrement plus faibles au pâturage ($0,5 \pm 0,1$ % AGT) ou avec des rations sèches ($0,5 \pm 0,9$ % AGT), qu'avec des rations complémentées avec des concentrés non enrichis en lipides ($0,7 \pm 0,1$ % AGT). Il semble donc qu'au pâturage les brebis produisent des quantités de 9c11t-CLA plus élevées que les chèvres, mais il n'existe pas de comparaisons directes ou indirectes avec des pâturages similaires. Les plus fortes proportions des 18:1 *trans* totaux du lait de brebis sont observées au pâturage ($5,7 \pm 1,1$ % AGT) par rapport aux rations sans herbe ($3,4 \pm 2,5$ % AGT), l'isomère majoritaire étant le 11t-18:1 (2 à 3,5 % AGT). Chez la chèvre au pâturage, les données peu nombreuses ne concernent que l'isomère 11t-18:1 (0,9 à 1,3 % AGT). La proportion des AGS à chaîne courte ou moyenne dans le lait des deux espèces n'est pas modifiée par le pâturage comparé aux rations à base d'herbe conservée complémentées avec des concentrés, ou aux rations sans herbe, alors que le 18:0 tend à augmenter. Ces données diffèrent de celles obtenues chez la vache pour lesquelles le pâturage réduit les teneurs en 16:0 et 14:0 (*cf. supra*).

3.2. EFFETS DE LA NATURE DES FOURRAGES CONSERVES

Les effets de la nature du fourrage et / ou de son traitement technologique sont peu quantifiables, puisque la majorité

des rations distribuées est basée sur le foin, et le nombre d'espèces végétales étudiées relativement limité. Pour les rations non enrichies en lipides, les foins de légumineuses induisent chez la chèvre et la brebis des proportions en 18:3 n-3 du lait légèrement plus élevées que celles obtenues avec des foins de graminées ($0,7 \pm 0,4$ vs. $0,5 \pm 0,3$ % AGT). Par ailleurs, avec les ensilages, les proportions de 18:3 n-3 sont comprises entre 0,2 à 0,4 (maïs) et 0,6 % AGT (*ray-grass*). Par contre, les rations à base d'ensilage de maïs conduisent à des augmentations fortes du 9c11t-CLA chez la brebis et la chèvre (0,6 à 0,8 % AGT) et des augmentations limitées du 10t12c-CLA chez la brebis (0,04 % AGT). Elles induisent en outre des proportions importantes de 10t-18:1 (0,9 à 1,8 % AGT) et 11t-18:1 (2 à 4,9 % AGT) dans le lait de brebis. Sans supplémentation lipidique, chez la chèvre les valeurs obtenues pour ces 2 isomères ne dépassent cependant pas 0,4 et 1,2 % AGT, respectivement.

3.3. EFFETS DU POURCENTAGE DE CONCENTRE

La proportion des 18:1 *trans* totaux n'excède pas 2 % AGT pour des apports de concentré inférieurs à 70 % MSI ; elle peut néanmoins atteindre 4 % AGT lors d'apport transitoire de rations contenant 100 % de concentré non enrichi en lipides. Ainsi, l'augmentation de 10 % de la MSI de concentré induit un accroissement modeste mais significatif de 0,03 % ($\pm 0,006$, n=10) de la proportion des 18:1 *trans* totaux. Dans ces conditions, tous les isomères *trans* du 18:1 sont accrus, les variations les plus fortes concernant le 10t-18:1 qui peut atteindre 0,3 % AGT. Du fait de faibles variations du 11t-18:1, la teneur en 9c11t-CLA du lait n'excède généralement pas 0,7 % AGT, même pour des apports élevés de concentrés dans les 2 espèces. Les effets du pourcentage de concentré sur le 10t12c-CLA apparaissent négligeables.

3.4. EFFETS D'APPORTS DE MATIERES GRASSES VEGETALES ET INTERACTIONS AVEC LES AUTRES CONSTITUANTS DE LA RATION

Des apports alimentaires importants de 18:3 n-3 (graine ou huile de lin essentiellement), accroissent en moyenne de + 0,6 % ($\pm 0,3$ %, huile de lin), + 0,85 % ($\pm 0,8$ %, graine de lin brute), + 1,9 % (graine extrudée) et jusqu'à 2,8 % AGT ($\pm 0,7$ %, graine traitée au formol) la teneur en 18:3 n-3 du lait de chèvre ou de brebis. Par ailleurs, l'apport de graines de colza brutes permet un accroissement plus modeste de la teneur en 18:3 n-3 du lait (+ 0,4 % $\pm 0,4$). Les autres formes de supplémentation lipidique conduisent à des variations très faibles (voire des réductions) du 18:3 n-3 du lait. L'ensemble de ces données permet de montrer que l'accroissement d'1 g de 18:3 n-3 / kg MSI accroît en moyenne sa proportion dans le lait de 0,07 % AGT ($\pm 0,006$, n=33). Les données disponibles suggèrent que la chèvre répond mieux que la vache aux apports de 18:3 n-3 alimentaire.

Un accroissement de la proportion du 18:2 n-6 dans le lait de brebis ou de chèvre compris entre + 0,5 et + 1,8 % AGT est généralement observé avec des graines ou des huiles riches en 18:2n-6 (tournesol, soja) au rythme de 0,07 % AGT ($\pm 0,02$) par g 18:2 n-6 / kg MSI.

Chez la chèvre, un accroissement du 9c11t-CLA de + 1,5 à + 1,7 % AGT est obtenu avec de l'huile de tournesol, de colza ou de soja, et jusqu'à + 2,7 % AGT ($\pm 0,7$) avec de l'huile de lin. La variabilité du 9c11t-CLA du lait tient en partie à l'apport de 18:2 n-6 dans la ration ainsi qu'à l'interaction entre le 18:2 n-6 alimentaire et certaines caractéristiques de la ration (proportion et nature

du concentré, type et mode de conservation des fourrages). Ainsi, l'accroissement du 9c11t-CLA par l'apport d'huiles de lin ou de tournesol chez la chèvre est plus important lorsque la proportion de concentré est faible à modérée (jusqu'à 50 % de la MSI) que lorsqu'elle est forte, et cet AG peut dépasser 5 % AGT avec un apport de 6 % d'huile de tournesol, alors que c'est l'inverse pour la réponse du 10t-18:1. De plus, l'accroissement du 9c11t-CLA du lait après complémentation par de l'huile de lin ou de tournesol est plus fort avec des rations à base de foin de luzerne ou de *ray-grass* qu'avec des rations à base d'ensilage de maïs, qui favorisent le 10t-18:1. Enfin, l'accroissement du 9c11t-CLA en réponse aux apports d'huile apparaît stable dans le temps, ce qui diffère nettement des résultats obtenus sur vache (*cf. supra*) et peut se rapprocher du fait que le 10t-18:1 du lait de chèvre augmente moins que chez la vache recevant des régimes similaires. Chez la brebis, tous les isomères *t/c* ou *c/t* des CLA identifiés sont accrus (quoique très faiblement) par l'apport d'huile de soja, en particulier les isomères 10t12c- et 11t13c-CLA lorsque la teneur en concentré augmente dans la ration. En comparaison des huiles, l'apport de différentes graines influence plus faiblement l'isomère 9c11t-CLA (+ 0,2 à + 0,7 % AGT), probablement du fait d'une libération lente des AGPI qui sont ainsi plus fortement hydrogénés. Les effets des traitements physiques des graines sur les isomères des CLA sont peu importants. La proportion des 18:1 *trans* totaux est fortement accrue par l'apport de lipides non protégés sous forme d'huile de soja ou de lin, induisant des accroissements de la teneur en 11t-18:1 compris entre 2 et 12 % AGT dans le lait, chez la chèvre et la brebis. Par ailleurs, la réponse du 10t-18:1 du lait à l'apport d'huile est maximale (+ 2,5 à 3 % AGT) lorsque l'on combine l'apport d'huile (tournesol oléique ou linoléique, lin) à des rations à base d'ensilage de maïs ou à base de foin et contenant plus de 50 % de concentrés. En outre, comme chez la vache, le 10t-18:1 augmente plus avec des concentrés à dégradation rapide dans le rumen en comparaison de concentrés à dégradation lente. Comme pour les CLA, les variations des différents isomères *trans* du 18:1 sont d'ampleur plus modérée lors d'apport de graine, en comparaison des huiles. Dans la majorité des cas, c'est l'isomère 11t-18:1 qui est accru.

La proportion de 9c-18:1 dans le lait des deux espèces est fortement accrue (de + 5 à + 11 % AGT) par l'apport d'huile de tournesol oléique ou linoléique, de savons de Ca d'huile d'olive, d'huile ou graine de colza ou de graine de lupin. Inversement, les AG saturés de 10 à 16C diminuent considérablement (de - 9 à - 16 % AGT) après supplémentation en huiles de soja, tournesol ou lin, ou en graines d'oléo-protéagineux.

CONCLUSION

L'alimentation permet de faire varier largement, et de façons diverses, la composition en AG du lait. Les progrès récents des connaissances sur les mécanismes de synthèse de ces AG (digestion et métabolisme), et sur leurs effets physiologiques chez l'homme, stimulent fortement les recherches en cours et leurs applications potentielles. Il n'existe toutefois que peu d'études mesurant finement la composition en AG du lait et comparant systématiquement différents fourrages, concentrés, suppléments lipidiques

(huiles, graines, traitements technologiques) et leurs interactions. Il reste, de ce fait, difficile d'établir précisément les lois de réponse à l'alimentation des différents AG d'intérêt. De même, les comparaisons entre vache, chèvre et brebis restent approximatives du fait du petit nombre d'études conduites sur les trois espèces avec des régimes similaires.

Les rations à base d'herbe, pâturée ou conservée dans de bonnes conditions, modifient le profil des AG du lait dans un sens potentiellement favorable, comparées aux rations riches en concentrés et / ou en ensilage de maïs. Les suppléments en oléagineux (lin notamment) ont des effets en partie similaires à l'herbe, mais accroissent en outre différents isomères *trans* du 18:1 et du 18:2, particulièrement lorsqu'ils sont ajoutés à des rations riches en concentrés et / ou en ensilage de maïs. Les effets potentiels de la majorité de ces isomères sont encore inconnus chez l'animal et chez l'homme. La chèvre se distingue de la vache par des réponses fortes et stables du 11t-18:1 et du 9c11t-CLA à la supplémentation lipidique, alors que le 10t-18:1 répond moins. La brebis, notamment sur pâturages méditerranéens, produit un lait relativement riche en 18:3 n-3, 11t-18:1 et 9c11t-CLA. Les effets secondaires potentiels des différentes pratiques alimentaires sur la qualité sanitaire (transfert éventuel de facteurs antinutritionnels présents dans certaines graines, variations de nutriments à effet pro-oxydant, etc.), technologique et sensorielle, et sur l'image des produits laitiers demandent à être mieux évalués.

Nous remercions le groupe de travail de l'AFSSA « Acides Gras des Produits Animaux » pour ses discussions stimulantes, et Pascale Béraud pour son aide lors de la mise en forme du manuscrit.

Principales revues bibliographiques utilisées, en complément des deux bases de données :

- AFSSA 2005.** Risques et bénéfices pour la santé des AG trans apportés par les aliments. Recommandations. <http://www.afssa.fr>
- Bernard L., Leroux C., Chilliard Y., 2006.** In: K. Sejrsen, T. Hvelplund and M.O. Nielsen (Eds), *Wageningen Academic Publishers (NL)*. p.295-326
- Chilliard Y., Ferlay A., 2004.** *Reproduction Nutrition Development*. 45, 467-492
- Chilliard Y., Rouel J., Ferlay A., Bernard L., Gaborit P., Raynal-Ljutovac K., Lauret A., Leroux C., 2006.** *Chapter 12 in "Improving the fat content of foods" (C. Williams and J. Buttriss, Eds), Woodhead Publishing Ltd. (Cambridge, UK)*. p.281-312
- Chilliard Y., Glasser F., Ferlay A., Bernard L., Rouel J., Doreau M. 2007.** *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109, 828-855
- Dewhurst R. J., Shingfield K. J., Lee M. R. F., Scollan N. D., 2006.** *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 131, 168-206
- Doreau M., Ferlay A., 1994.** *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 45, 379-396
- Enjalbert F., 1995.** *Rev. Méd. Vét.*, 146, 383-392
- Griinari J.M., Bauman D.E., 2006.** In: *Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. (Eds), Wageningen Academic Publishers (NL)* p. 389-417
- Sanz Sampelayo M.R., Chilliard Y., Schmidely Ph., Boza J., 2006.** *Small Ruminant Research*, 68, 42-63
- Sauvant D., Bas P., 2001.** *INRA Prod. Anim.*, 14, 303-310
- Schmidely Ph., Sauvant D., 2001.** *INRA Prod. Anim.*, 14, 337-354

Annexe : nomenclature des acides gras

Les AG sont décrits en indiquant le nombre de carbones et de doubles liaisons, le numéro du 1^{er} carbone de chaque double liaison, compté à partir de l'extrémité carboxylique (COOH) (numérotation en « delta »), et enfin la configuration spatiale de la double liaison : *cis* -c- ou *trans* -t- (selon que les deux parties de la chaîne carbonée sont situées du même côté ou de part et d'autre, respectivement, de la double liaison). Par exemple, le 11t15c-18:2 a 18 carbones et 2 doubles liaisons en positions delta 11

(configuration *trans*) et delta 15 (configuration *cis*). Toutefois, dans le cas des acides linoléique (18:2 n-6) et alpha-linolénique (18:3 n-3) on peut indiquer seulement, pour simplifier, le nombre de carbones, le nombre de doubles liaisons *cis* et la position de la 1^{ère} d'entre elles à partir de l'extrémité méthylrique (CH3) (il y a identité entre les dénominations n-3 ou oméga 3, et n-6 ou oméga 6, respectivement). Enfin, un AG est dit « conjugué » lorsque les doubles liaisons sont distantes de deux carbones (au lieu de trois habituellement).

Tableau 1 : Réponses des principaux acides gras du lait de vache (Y, en % AG totaux) en fonction d'une variation spécifique de la teneur de la ration ingérée (MSI) en 18:2 n-6 ou en 18:3 n-3 (F. Glasser, A. Ferlay, Y. Chilliard, non publié)

AG du lait (Y)	Réponse à 18:2 (X en g / kg MSI) ^a	Réponse à 18:3 (X en g / kg MSI) ^b
4 : 0-14:0	32,6(±0,8) -0,37(±0,04) X (N=37, R ² =0,94)	29,3(±0,7) -0,38(±0,04) X (N=21, R ² =0,96)
16:0	33,0(±0,7) -0,41(±0,03) X (N=37, R ² =0,94)	33,1(±0,7) -0,41(±0,04) X (N=21, R ² =0,95)
18:0	8,0(±0,51) + 0,21(±0,02) X (N=37, R ² =0,90)	9,6(±0,9) + 0,19(±0,05) X (N=21, R ² =0,80)
18:1 <i>cis</i>	18,7(±2,4) + 0,29(±0,10) X (N=19, R ² =0,65)	18,4(±1,2) + 0,32(±0,06) X (N=15, R ² =0,87)
18:1 <i>trans</i>	0,99(±1,38) + 0,18(±0,06) X (N=21, R ² =0,65)	0,8(±1,0) + 0,20(±0,05) X (N=19, R ² =0,73)
18:2 total	2,0 (±1,5) + 0,25(±0,05) X : protégés + 0,06(±0,05, NS) X : non protégés (N= 37, R ² =0,93)	2,3 (±1,0) + 0,12(±0,05) X (N= 21, R ² =0,71)
9c11t-CLA	0,89 (±0,12) + 0,0084(±0,0059, NS) X (N= 6, R ² =0,96)	0,68 (±0,23) + 0,022(±0,014, NS) X (N= 15, R ² =0,51)
18:3	0,58 (±0,13) + 0,0088(±0,0072, NS) X (N= 31, R ² =0,90)	0,52 (±0,13) + 0,021(±0,007) X (N= 21, R ² =0,54)

^a comparaisons de lots de vaches dont l'ingestion de 18:2 n-6 varie fortement, alors que celle de 18:3 n-3 varie peu

^b comparaison de lots de vaches dont l'ingestion de 18:3 n-3 varie fortement, alors que celle de 18:2 n-6 varie peu

Tableau 2 : Effet de la nature du fourrage et du supplément lipidique (huile de tournesol, HT, ou de lin, HL, en % MS ingérée) sur la production de lait, le taux butyreux (TB) et la composition en acides gras (% AG totaux) du lait de vache (d'après Chilliard *et al.*, 2007)¹

Fourrage	Huile ²	Dose	Lait (kg / j)	TB (g / kg)	9c-18:1	18:2n-6	18:3n-3	9c11t-CLA	18 :3 / 18 :2 ³
Ensilage de maïs ⁴	-	-	27,9	38,9	16,0	1,7	0,3	0,6	0,17
	HT	1,5	29,2	35,2	18,2	2,1	0,3	1,7	0,13
		3,0	30,2	31,9	20,4	2,2	0,3	2,5	0,11
	HL	1,5	30,2	36,9	17,5	1,7	0,5	1,4	0,29
		3,0	29,7	33,7	18,9	1,6	0,6	2,1	0,38
Ensilage d'herbe ⁵	-	-	25,6	37,2	17,4	1,6	0,7	0,7	0,44
	HT	1,5	25,9	36,5	21,4	1,8	0,7	1,1	0,37
		3,0	27,7	34,6	23,4	2,0	0,6	1,9	0,31
	HL	1,5	27,1	36,6	21,0	1,6	0,9	1,0	0,55
		3,0	26,7	35,8	22,4	1,5	0,8	1,7	0,51

¹ 20 vaches dans deux carrés latins 5x5 répliqués ; ² HT riche en 18:2 n-6, HL riche en 18:3 n-3 ; ³ rapport 18:3 n-3 / 18:2 n-6

⁴ 47 % ensilage de maïs, 13 % foin de graminées, 40 % concentrés ; ⁵ 60 % ensilage d'herbe, 5 % foin de graminées, 35 % concentrés

Figure 1 : Principales voies connues ou probables de la biohydrogénation ruminale des acides linoléique et linoléique (en gras, voies majeures; en traits pleins, voies probables suggérées par les études *in vitro* ; en pointillés, voies probables avec des intermédiaires à préciser ; lorsque les configurations *cis* ou *trans* ne sont pas indiquées, toutes les combinaisons peuvent exister) (adapté d'après Chilliard *et al.*, 2007)

