

Effets des conduites d'élevage sur la production de lait, les taux butyreux et protéique et la composition en acides gras du lait de vache, chèvre et brebis évaluée par spectrométrie dans le moyen infrarouge

J. LEGARTO¹, M. GELÉ², A. FERLAY^{3,4}, C. HURTAUD^{5,6}, G. LAGRIFFOUL¹,
I. PALHIÈRE^{7,8,9,10}, J.-L. PEYRAUD^{5,6}, B. ROUILLÉ¹¹, P. BRUNSCHWIG²

¹ Institut de l'Élevage, BP 42118, F-31321 Castanet-Tolosan, France

² Institut de l'Élevage, CS 70510, F-49105 Angers, France

³ INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champagnelle, France

⁴ Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

⁵ Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, F-35000 Rennes, France

⁶ INRA, UMR1348 PEGASE, F-35590 Saint Gilles, France

⁷ INRA, UMR1388 GenPhySE, F-31326 Castanet-Tolosan, France

⁸ Université de Toulouse INPT ENSAT, UMR1388 GenPhySE, F-31326 Castanet-Tolosan, France

⁹ Université de Toulouse INPT ENVT, UMR1388 GenPhySE, F-31076 Toulouse, France

¹⁰ Université de Toulouse INPT, Ecole d'Ingénieurs de Purpan, UMR1388 GenPhySE, F-31076 Toulouse, France

¹¹ Institut de l'Élevage, BP 85225, F-35652 Le Rheu, France

Courriel : jean.legarto@idele.fr

Dans un contexte où la maîtrise des qualités nutritionnelles et « santé » des produits laitiers est une demande croissante des consommateurs, les effets des principales conduites d'élevage et d'alimentation des bovins, caprins et ovins sur la composition en acides gras du lait produit ont été évalués en routine, à grande échelle et dans la diversité des situations d'élevage.

L'influence des systèmes d'alimentation des troupeaux laitiers bovins, caprins et ovins, dans leurs diversités et en conditions réelles d'élevage, sur les compositions en Acides Gras (AG) des laits a pu être étudiée dans le programme *PhénoFinlait* au titre des effets du milieu sur ce phénotype. Si ces effets sont connus, davantage pour les bovins que pour les petits ruminants laitiers, c'est grâce à des dispositifs expérimentaux maîtrisés faisant varier de façon parfois extrême des modalités alimentaires simples. Or, dans les conditions réelles comme celles rencontrées dans les élevages du dispositif *PhénoFinlait*, les variations des systèmes d'alimentation sont plus complexes, multifactorielles et moins extrêmes que dans la bibliographie expérimentale. Ces dispositifs sont donc complémentaires.

Parmi les nombreux facteurs de variation de la composition en AG du lait, l'effet des facteurs intrinsèques au troupeau (âge, rang et stade de lactation, saisonnalité, race) a été étudié pour mieux évaluer l'effet du facteur extrinsèque

majeur qu'est le système d'alimentation du troupeau. Ce facteur est un levier rapide, réversible et souvent efficace pour agir sur la composition du lait.

Les fourrages interviennent dans la composition en AG du lait selon trois grands modes d'action : *i*) l'apport en AG Insaturés (AGI), présents en plus grande quantité dans les fourrages jeunes, verts ou conservés (Boufaièd *et al* 2003), *ii*) l'apport de fibres augmentant la salivation d'ingestion et de mastication qui favorise la neutralité du pH ruminal et les conditions de bio-hydrogénation (Chilliard *et al* 2007) et *iii*) la production d'acétate et accessoirement de butyrate, précurseurs des AG courts et moyens (Sauvant et Bas 2001).

Les aliments concentrés peuvent, selon leur nature et leur niveau d'incorporation, intervenir en synergie positive avec les fourrages lorsqu'il s'agit de concentrés enrichis en AGI (oléagineux, huiles...), mais ils interviennent de façon opposée aux fourrages lorsque leur inges-

tion diminue le pH ruminal et favorise les fermentations orientées vers la production d'acide propionique au détriment de l'acide acétique (Kaufman *et al* 1980, Journet *et al* 1995).

L'objectif de cet article est de restituer les résultats obtenus dans le programme *PhénoFinlait* sur la mise en évidence à grande échelle de facteurs de variations physiologiques, alimentaires, raciaux et saisonniers de la composition en AG, mais aussi de la production de lait et du taux protéique des laits de vaches, chèvres et brebis analysés en routine par spectrométrie dans le Moyen InfraRouge (MIR).

1 / Elaboration et traitement de la base de données

1.1 / Les données utilisées

La collecte des données *PhénoFinlait* s'est déroulée entre octobre 2009 et janvier 2011 dans 26 départements des

bassins laitiers du Grand Ouest, du Nord, de l'Est de la France, du Poitou-Charentes, du Centre de la France, du Rayon de Roquefort (RR) et des Pyrénées-Atlantiques (PA) (Gelé *et al* 2014).

Dans 1 157 élevages bovins, 209 élevages caprins et 162 élevages ovins, respectivement 6 645, 895 et 968 enquêtes d'alimentation ont été réalisées par les techniciens des Entreprises de Conseil en Elevage Laitier (ECEL). Chaque enquête a été réalisée dans des délais n'excédant pas 5 jours après le contrôle laitier officiel au cours duquel ont été mesurées les performances laitières individuelles et réalisées les prises d'échantillons de lait analysés en spectrométrie MIR. 445 000 spectres ont été obtenus pour 84 000 vaches, 270 000 pour 71 000 chèvres et 120 000 pour 33 600 brebis. En moyenne, les élevages bovins ont été suivis 5 à 6 fois, les élevages caprins 3 à 4 fois et les élevages ovins de 4 à 6 fois au cours de la période de collecte. Au total, on dispose de 5,7 spectres par vache prélevée, et de 3,5 à 3,8 spectres par femelle prélevée en caprins et ovins. Les protocoles de contrôle laitier ont été du type A (2 traites contrôlées par jour) en totalité pour les bovins et pour moitié en caprins et du type AC (traite du matin) pour les ovins.

Les données individuelles (identification, dates de naissance et de mise bas, rang de lactation...) complétées par les performances laitières (Lait brut (PL), Taux Butyreux (TB), Taux Protéique (TP), Comptage de Cellules Somatiques (CCS)) ont été extraites des bases des Systèmes Nationaux d'Information Génétique (SNIG).

Les données spectrales des laits individuels, obtenues sur des analyseurs Milko-Scan™ FT6000 et Bentley FTS, et les enquêtes d'alimentation ont été stockées dans une base spécifique du programme *PhénoFinlait*, puis extraites pour les traitements.

Les informations recueillies dans les enquêtes d'alimentation pour les 3 espèces ont concerné les quantités des fourrages distribués et refusés par lot, la nature botanique, le stade végétatif, le mode de récolte et de conservation et le taux de Matière Sèche (MS) des fourrages mis à disposition des animaux. Ces caractéristiques ont permis d'établir une correspondance avec les tables de composition et de valeur nutritive (INRA 2007). Pour les petits ruminants les distributions des concentrés ont été relevées par lots. Pour les élevages bovins, les règles d'attribution de la complémentation individuelle ont été énoncées, selon les élevages, soit en fonction du niveau de production, soit en fonction du stade de lactation des vaches. Les matières premières d'aliments concentrés distribués en l'état ou sous forme d'aliments composés du commerce

ont été décrites, les formulations de ces dernières ont été recherchées en y incluant bien sûr les additifs, les minéraux et les suppléments en matières grasses et substances tampons. Pour les 3 productions, plus de 3 700 aliments différents (fourrages pâturés, conservés et matières premières distribuées en l'état ou intégrées dans des concentrés du commerce) ont été déclarés.

Cette description détaillée des rations par contrôle-enquête a permis d'évaluer les apports en éléments nutritifs (UFL, PDIN, PDIE, PDIA, amidon, matières grasses, Ca, P) au niveau du troupeau ou du lot pour les petits ruminants, et au niveau de l'individu pour les bovins, ainsi que les principales caractéristiques des rations ingérées (MS, fibrosité, dégradabilité de l'amidon). Les besoins ont été évalués individuellement et consolidés au niveau du troupeau ou du lot en fonction des données zootechniques extraites du SNIG, complétées par des formats standards par race (poids vif par race, notes d'état corporel...).

La conduite du troupeau de chèvres en plusieurs lots physiques est fréquente (de 2 à 8 lots dans 54% des enquêtes) et la méconnaissance de l'affectation individuelle des chèvres à un lot (ration) n'a pas permis d'exploiter 21% des enquêtes. Pour les autres espèces, cette difficulté a été moindre car la conduite en lot avec des rations différentes est moins fréquente : 13% des élevages ovins et moins de 5% des élevages bovins.

Finalement, après élimination des données non exploitables (défaut d'affectation individuelle aux lots, défaut de correspondance entre enquêtes et spectres...) et aberrantes, 84% des enquêtes en élevages bovins ont pu être exploitées pour l'étude des facteurs de variation des AG du lait, soit 5 565 enquêtes d'alimentation associées à 293 525 spectres. En caprins, 67% des enquêtes ont pu être exploitées, soit 590 enquêtes associées à 146 200 spectres. En ovins, 75% des enquêtes ont été exploitées, ce qui représente 727 enquêtes associées à 53 514 spectres. Sept races sont représentées dans cette base de données : Holstein, Normande et Montbéliarde en bovins, Alpine et Saanen en caprins et Lacaune et Manech Tête Rousse (MTR) en ovins.

1.2 / Le traitement des données

a) Phénotypage de la composition fine en acides gras du lait par spectrométrie MIR

Les données spectrales ont été couplées aux résultats de contrôle laitier officiel : PL, TB, TP, CCS. Elles ont été utilisées pour quantifier les pourcentages des AG des laits *via* un modèle statistique constitué de coefficients à appliquer sur cha-

cune des longueurs d'onde du spectre (Ferrand-Calmels *et al* 2014).

Les estimations des parts d'AG obtenues ont été recalées en bovins et en ovins pour limiter le biais dû au décalage observé entre analyseurs, mais également au cours du temps pour un même analyseur (Leray *et al* 2011). En caprins, un effet « analyseur » a été intégré dans le modèle statistique.

Les AG ont été exprimés en part (pourcentage) des AG Totaux (AGT), unité la plus fréquemment utilisée dans la littérature pour l'étude des facteurs environnementaux, ainsi que pour l'expression des repères nutritionnels. Les écarts en part d'AG sont exprimés en points (différence des pourcentages).

b) Typologie des systèmes d'alimentation

Afin de résumer les données d'alimentation, une typologie des systèmes alimentaires a été réalisée par analyse en composantes principales et classification ascendante hiérarchique avec le logiciel SPAD® v7.3 à partir de la part des différents aliments dans la ration.

Ainsi, 15 régimes ont été mis en évidence en bovins et 11 en caprins. En ovins, la classification a été faite par bassin de production, car la race et les systèmes d'alimentation y diffèrent. Respectivement 7 et 6 régimes ont été distingués dans les bassins RR et PA (tableau 1).

c) Traitement statistique des données

Les données ont été analysées avec un modèle linéaire mixte différent selon l'espèce à l'aide de la procédure Mixed du logiciel SAS® v9.1.3.

Pour l'espèce bovine, il s'agit d'un modèle longitudinal intra-race tenant compte de la répétition animale sur les contrôles successifs. Les effets fixes pris en compte par ce modèle sont le stade de lactation, le rang de lactation, l'âge au premier vêlage, la période de vêlage, le niveau d'ingestion, le régime, la part de concentrés de la ration, le pourcentage d'amidon de la ration, celui de la Matière Grasse (MG) et la saison.

Pour l'espèce caprine, le modèle est mixte et prend en compte les effets fixes suivants : type de ration, teneur en MG de la ration, part des fourrages dans la ration, stade de lactation, rang de lactation, âge à la première mise bas, mois de mise bas, race et type d'infra-analyseur ; ainsi que des effets aléatoires : élevage et père.

Pour l'espèce ovine, le modèle est également mixte et prend en compte le type de ration, la présence de substances tampon et l'interaction stade de lacta-

tion × ration en effets fixes, ainsi que l'élevage en effet aléatoire.

Les résultats sont présentés en écart de moyennes ajustées des autres effets du modèle, par rapport à une modalité

de référence. Pour les trois espèces, les effets sont considérés significatifs au seuil $P < 0,01$.

Les modèles sont différents entre espèces animales, ils sont construits

intra-race pour les espèces bovine et ovine car les races sont très liées aux zones géographiques et aux systèmes d'alimentation, tandis que pour l'espèce caprine ce n'est pas le cas. De plus, seuls les effets fixes, en interaction ou non,

Tableau 1. Systèmes d'alimentation par espèce.

Régime	Effectifs (%)	Fourrage principal (%)	Fourrages complémentaires (%)	Concentrés (%)
Bovins				
EMa	13,5	Ensilage de maïs/sorghos (≈75)		10-30
EMa+CC	12,8	Ensilage de maïs/sorghos (≈65)		20-40
EMa+bsod	6,5	Ensilage de maïs/sorghos (≈60)	Herbe conservée (10-15)	20-30
EMa+EH	6,0	Ensilage de maïs/sorghos (≈55)	Ensilage d'herbe multi-espèces (≈20)	10-30
EMa+EG	4,1	Ensilage de maïs/sorghos (≈50)	Ensilage de graminées pures (≈20)	10-30
EMa+ER	5,2	Ensilage de maïs/sorghos (≈45)	Enrubannage d'herbe ou foin (≈25)	10-35
FV	2,7	Foin ventilé en grange (≈75)		10-35
F	2,5	Foin séché au sol (≈45)	Foin ventilé (≈20)	10-45
FS	5,5	Foin séché au sol (≈75)		10-35
EH	1,2	Ensilage/enrubannage d'herbe (≈45)	Ensilage de maïs/sorghos, foin, pâture (≈40)	5-25
ECPI	0,7	Ensilage de céréales et/ou de protéagineux immatures (≈60)	Autres (≈25)	10-25
EMa+P	10,6	Ensilage de maïs/sorghos (≈45)	Pâture (≈35)	5-25
P+EMa	14,8	Pâture (≈60)	Ensilage de maïs/sorghos (≈30)	5-20
P+F	4,2	Pâture (≈55)	Herbe conservée (ensilage, enrubannage ou foin) (≈25)	5-30
P	9,7	Pâture (≈85)		5-15
Caprins				
FG	8,8	Foin de graminées séché au sol (≈40-45)	Ensilage d'herbe (≈5-10), Luzerne déshydratée, paille	40-50
FM	7,8	Foin séché au sol (≈40)	Luzerne déshydratée, paille	50-55
FL	23,6	Foin de légumineuses séché au sol (≈45)	Luzerne déshydratée, paille	40-50
FV	3,6	Foin ventilé (≈50)	Ensilage de maïs (≈5-10), Luzerne déshydratée, paille	35-45
EMa+TS	21,4	Ensilage de maïs (≈35)	Foin ventilé (≈15-20), Luzerne déshydratée, paille	35-45
EMa+LD	10,5	Ensilage de maïs (≈20-25) + Luzerne déshydratée (≈20)	Foin séché au sol (≈15-20)	40-45
EH+FM	7,6	Ensilage d'herbe (≈25-30)	Foin séché au sol (≈15-20), Luzerne déshydratée (≈5-10), paille	40-50
EH+FG	3,7	Foin séché au sol (≈35-40)	Ensilage d'herbe (≈5-10), Luzerne déshydratée (≈5-10)	45-50
P+FL	6,8	Foin séché au sol (≈30-35)	Ensilage de maïs (≈5-10), Paille	50-60
P+LD	1,7	Paille (≈15-20)	Luzerne déshydratée (≈15)	60-65
Pat	4,6	Pâture (≈55)	Foin séché au sol (≈10-15)	25-35
Ovins – Rayon de Roquefort				
EH	20,9	Ensilage d'herbe (≈50)	Foin séché au sol (≈20-25), Aliment déshydraté (≈5-10)	15-20
EH+EMa	2,2	Ensilage d'herbe (≈25-30)	Ensilage de maïs (≈20-25), Foin séché au sol (≈20)	25-35
FV	13,3	Foin ventilé (≈70-75)	Aliment déshydraté (≈5)	15-25
FL	7,3	Foin de légumineuses séché au sol (≈65-70)	Ensilage d'herbe (≈15-20), Aliment déshydraté (≈5-10)	15-25
FM	7,3	Foin séché au sol (≈50-55)	Aliment déshydraté (≈5-10)	15-25
PG	23,1	Pâture (≈40-50)	Ensilage d'herbe (≈10), Foins (≈20)	15-25
PM	25,8	Pâture (≈50)	Ensilage d'herbe (≈5-10), Foins (≈20)	15-25
Ovins – Pyrénées-Atlantiques				
F+P	18,8	Foin séché au sol (≈35-40)	Pâture (≈25), Aliment déshydraté (≈5-10)	20-25
EMa+P	17,9	Foin séché au sol (≈30)	Pâture (≈25-30), Ensilage de maïs (≈10-15), Aliment déshydraté (≈5-10)	15-25
F	9,4	Foin séché au sol (≈55-60)	Aliment complet (≈10-15), Aliment déshydraté (≈5-10)	20-25
EMa	6,7	Foin séché au sol (≈45)	Ensilage de maïs (≈15), Aliment déshydraté (≈10-15)	20-30
P+F	38,5	Pâture (≈40-45)	Foin séché au sol (≈25)	20-30
P+EMa	8,8	Pâture (≈40)	Foin séché au sol (≈20-25), Ensilage de maïs (≈10-15)	15-20

qui permettent de réduire le vecteur des résidus ont été retenus. C'est pour cette raison, par exemple, que le facteur « taux de MG de la ration » n'a été retenu que pour l'espèce caprine.

2 / Facteurs de variation de la production laitière, des taux butyreux et protéique et de la composition en acides gras du lait

2.1 / Chez les bovins

a) Effets des facteurs physiologiques

Le stade de lactation

Les taux évoluent de façon inverse à la PL (figure 1). Après un pic atteint entre 15 et 50 jours de lactation, la PL chute jusqu'à la fin de la lactation de 11 à 12 kg selon la race. Au contraire, le TB et le TP atteignent leur minimum autour du pic de lactation puis augmentent respectivement de 5,5 à 7,2 g/kg et de 6,6 à 7,2 g/kg selon la race. Ces résultats confirment ceux de Coulon *et al* (1991) qui rapportent des taux maximaux en début de lactation, minimaux autour du 2-3^{ème} mois, et en hausse jusqu'à la fin de la lactation, avec des écarts atteignant 7 g/kg entre les mois extrêmes.

L'effet du stade de lactation sur le profil en AG est marqué et similaire dans

les trois races (figure 1). La part des AG Saturés (AGS) augmente de 3 à 6 points dans les 4 à 6 premiers mois de lactation tout comme celle des acides myristique C14:0 et palmitique C16:0 qui augmentent respectivement de 2 à 3 et de 4 à 5 points. Au contraire, le pourcentage des AG MonoInsaturés (AGMI) est maximal en début de lactation et chute de 3 à 5,5 points selon la race. La part d'acide oléique C18:1c9 évolue de la même façon. Après ce délai, ces pourcentages se stabilisent. La part des AG PolyInsaturés (AGPI) est stable sur l'ensemble de la lactation. Ces variations sont en accord avec la littérature (Bitman et Wood 1990, Kay *et al* 2005, Soyeurt *et al* 2008).

Le rang de lactation

Les multipares ont des performances différentes des primipares (L1). Les vaches en deuxième lactation (L2) produisent, selon la race, jusqu'à 2,3 kg de lait, 0,6 g/kg de TB et 0,8 g/kg de TP de plus que les L1. Les écarts de performances entre multipares de rangs différents sont plus faibles. Les vaches en quatrième lactation et plus (L4+) produisent jusqu'à 1,8 kg de lait de plus que les L2. Les vaches en troisième lactation (L3) ont des performances intermédiaires.

Par rapport aux L1 et selon la race, les matières grasses du lait produit par les L2 contiennent + 0,95 à + 1,15 points d'AGS, + 0,3 à + 0,4 de C14:0 et + 0,6 à

+ 1,0 de C16:0. Les pourcentages des AGMI et C18:1c9 sont respectivement inférieurs chez les L2 de 0,9 à 1,1 et de 0,8 à 0,95 point par rapport aux L1. La parité n'a pas d'effet sur la part des AGPI. Les écarts entre L2, L3 et L4+ sont faibles : + 0,65 point d'AGS maximum chez les L4+ par rapport aux L2.

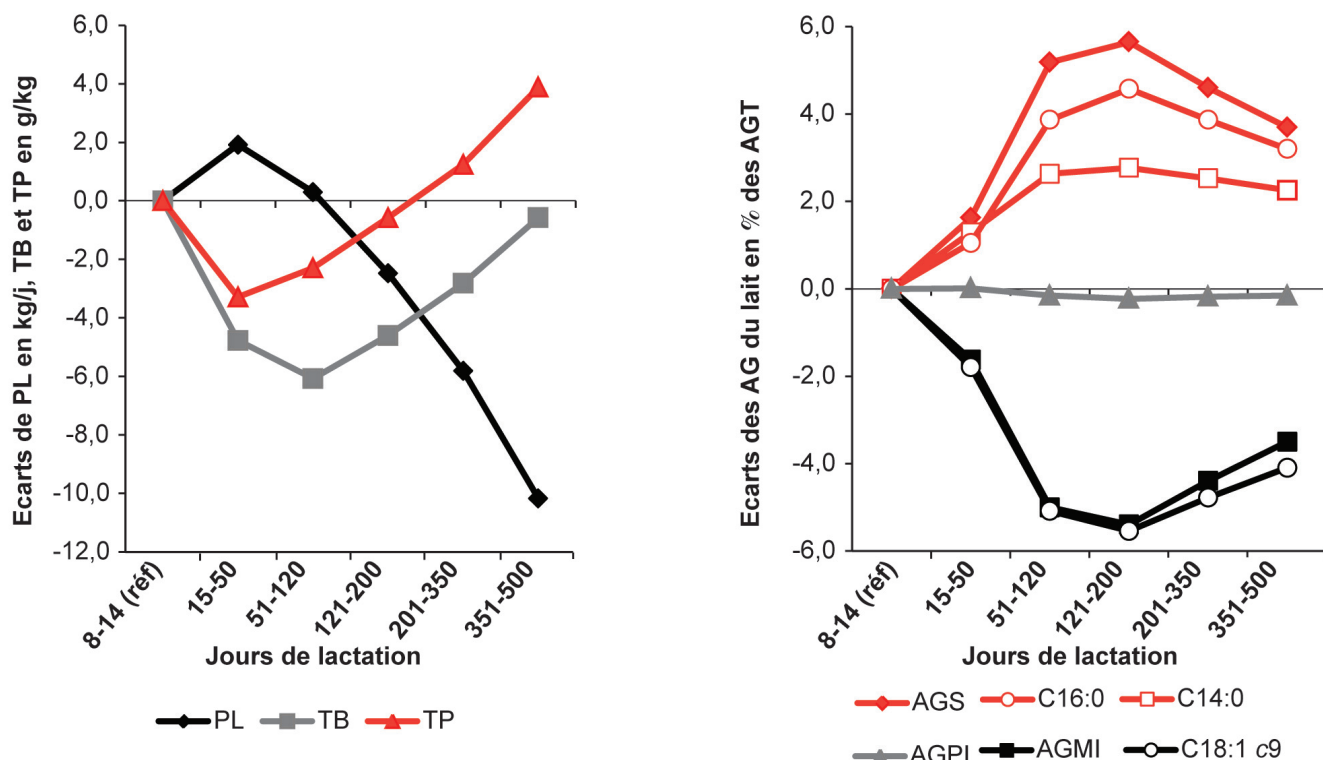
Ces résultats confirment ceux de Delaby *et al* (2002), qui rapportent un écart de 3,2 kg de lait, 1,8 points d'AGS, + 0,3 de C14:0, + 0,2 de C16:0 et - 0,3 de C18:1c9 en moyenne entre les multipares et les primipares. Craninx *et al* (2008) ont observé une PL supérieure de 5,6 kg par jour, et des écarts de pourcentages d'AGS, C14:0, C16:0 et C18:1c9 respectivement de + 1,0, + 0,1, + 1,8 et - 0,9 point chez les multipares par rapport aux primipares. Aucun écart significatif de la part en AGPI entre rangs de lactation n'a été montré.

L'âge au premier vêlage

Les vaches vêlant pour la première fois après 35 mois produisent selon la race 0,5 à 0,7 kg de lait en plus que celles vêlant avant 28 mois. Ces mêmes vaches produisent un lait ayant, en race Holstein, jusqu'à + 0,9 g/kg de TB et + 0,5 g/kg de TP. Les vaches Normandes vêlant à plus de 35 mois produisent + 0,5 g/kg de TB que celles vêlant précocement. Le TP n'est pas affecté dans cette race. En Montbéliarde, ni le TB ni le TP ne sont influencés par l'âge au premier

Figure 1. Evolution de la production laitière, des taux butyreux et protéique, et du profil en acides gras du lait de vache (race Holstein, n = 125 514) en fonction du stade de lactation exprimé en classes et en jours*.

*Le stade 8 à 14 jours (Réf.) en jours sert de référence graphique (ordonnée zéro).



vêlage. Le profil en AG du lait est peu affecté par ce facteur.

La période de vêlage

Les vaches ayant vêlé en été (mois de juin à septembre) produisent moins de lait que celles qui ont vêlé en hiver (mois de décembre à mars). Cet effet se retrouve chez les trois races avec des écarts d'amplitudes différentes : - 1,2 kg/j en Holstein, - 0,9 kg/j en Normande et - 0,4 kg/j en Montbéliarde. En revanche, selon la race, elles produisent un lait ayant 0,8 à 0,9 g/kg de TB et 0,5 à 0,8 g/kg de TP de plus que celles ayant vêlé en été. Quelle que soit la race, le lait des vaches vêlant en été est plus pauvre en AGS (- 0,5 point au maximum) et plus riche en AGMI que celui des vaches vêlant en automne-hiver.

b) Effets des facteurs alimentaires

Le niveau d'ingestion

Selon la race, les vaches à forte ingestion (> 23 kg de MS par jour) produisent 4,1 à 6,2 kg de lait de plus que les vaches à faible ingestion (< 18 kg de MS par jour) grâce, en partie, à l'augmentation de la quantité d'énergie disponible. Elles produisent un lait à 0,8 à 1,2 g/kg de TB en moins conformément aux résultats de Delaby *et al* (2001) qui rapportent une baisse de TB de 1,4 g/kg avec une hausse de 4 kg de MS ingérée au pâturage, et 1,2 à 1,7 g/kg de TP en moins par rapport aux vaches à faible ingestion. Le niveau d'ingestion a peu d'effet sur le profil en AG. Les vaches à forte ingestion produisent légèrement plus d'AGS (+ 0,3 à + 0,4 point) que les vaches à faible ingestion.

Le type de régime alimentaire

Les régimes alimentaires ont été déterminés selon la méthode décrite au paragraphe 1.2.b et sont résumés dans le tableau 1. Le régime « EMa », basé sur l'ensilage de maïs comme seul fourrage et comportant 10 à 30% de concentrés, a été choisi comme référence (Réf.) pour le calcul des écarts ajustés. Ces écarts sont présentés par race dans le tableau 2.

Par rapport au régime « EMa », le régime ensilage de maïs à forte part de concentrés « EMa+CC » n'induit pas d'écart de TP. Le TB est légèrement plus faible en races Holstein et Normande (- 0,2 à - 0,4 g/kg) et le lait contient - 0,4 point d'AGS et + 0,3 à + 0,4 point d'AGMI. Quelle que soit la race, on observe des écarts de - 0,3 à - 0,8 point de C16:0 et de + 0,2 à + 0,4 point de C18:1c9 avec le régime « EMa+CC » par rapport au régime « EMa ».

L'apport de bicarbonate de sodium dans le régime ensilage de maïs « EMa+bsod » a peu d'effet sur la PL et les taux, sauf en

race Montbéliarde où un TB plus faible de 0,5 g/kg est observé. Les pourcentages des AGS et C14:0 sont plus faibles et ceux des AGMI et du C18:1c9 sont plus élevés qu'avec le régime « EMa ». Ces écarts sont plus élevés en race Montbéliarde : - 1,2 points d'AGS, - 0,5 de C14:0, + 1,1 d'AGMI et + 0,95 de C18:1c9 par rapport au régime « EMa ».

L'association d'Herbe Ensilée (EH), de Graminée Ensilée (EG) ou enrubannée (ER) avec l'EMa (régimes « EMa+EH », « EMa+EG » et « EMa+ER ») a un effet modeste sur la PL et les taux. Cet effet est variable selon le type d'ensilage et selon la race. En race Normande, avec le régime « EMa+EH » le lait contient - 0,5 point d'AGS, - 0,3 de C14:0, + 0,5 d'AGMI et + 0,5 de C18:1c9 par rapport au régime « EMa ». Quelle que soit la race, le régime « EMa+EG » induit une hausse des pourcentages en AGS, C14:0 et C16:0 jusqu'à respectivement + 1,1, + 0,4 et + 1,5 points. Au contraire, les parts des AGMI, C18:1c9 et AGPI sont inférieures respectivement de - 0,9, - 0,7 et - 0,2 point par rapport au régime « EMa ». Enfin, le régime « EMa+ER » a un effet contraire au régime « EMa+EG » : jusqu'à - 0,5 point d'AGS et de C14:0 et jusqu'à + 0,5 point d'AGMI et de C18:1c9.

Lorsque l'ensilage d'herbe est le fourrage majoritaire (régime « EH »), la PL est inférieure de 0,6 à 0,9 kg en races Holstein et Normande. En race Holstein, le TB est supérieur (+ 0,5 g/kg) et le TP inférieur (- 0,6 g/kg). En races Normande et Montbéliarde, les TB et TP sont tous deux inférieurs (respectivement - 1,6 et - 1,4 g/kg). En race Holstein, le régime « EH » induit un écart en points de + 0,7 d'AGS, + 0,2 de C14:0, + 1,1 de C16:0, - 0,6 d'AGMI, - 0,3 de C18:1c9 et - 0,05 d'AGPI par rapport au régime « EMa ». En race Normande, les effets sont inverses. Enfin, en Montbéliarde, le lait contient avec le régime « EH » vs « EMa » un écart exprimé en points de - 1,2 d'AGS, - 0,6 de C14:0, - 1,0 de C16:0, + 1,1 d'AGMI, + 1,2 de C18:1c9 et + 0,2 d'AGPI.

L'introduction de Pâturage (P) dans un régime à base d'EMa, de façon dominante (« P+EMa ») ou pas (« EMa+P ») et le pâturage seul (régime « P ») permettent d'augmenter la PL jusqu'à 1,6 kg par jour. Au contraire du TP (+ 0,1 à + 0,4 g/kg selon la race avec le régime « P »), le TB est inférieur avec ces régimes (- 1,7 g/kg en races Holstein et Montbéliarde, et - 2,1 g/kg en race Normande), d'autant plus que la part de pâturage est grande. L'effet du pâturage sur la composition en AG est marqué et augmente graduellement avec sa part dans le régime. Cet effet est moins marqué en race Holstein que dans les autres races. L'augmentation de la part de pâturage entraîne la baisse des pourcentages

d'AGS, C14:0 et C16:0 jusqu'à respectivement - 4,9, - 1,0 et - 4,2 points et la hausse des AGMI, C18:1c9 et AGPI jusqu'à respectivement + 4,2, + 0,75 et + 3,1 points.

Lorsque le pâturage est associé à du foin (F) (régime « P+F »), la PL et le TP sont plus faibles qu'en régime « EMa » en races Holstein (- 1,1 kg de lait et - 0,7 g/kg de TP) et Normande (- 0,4 kg de lait et - 0,9 g/kg de TP). En revanche, la PL est légèrement plus élevée (+ 0,5 kg) en race Montbéliarde. Le TB est plus faible en régime « P+F » qu'en régime « EMa » : - 1,5 à - 2,8 g/kg selon la race. L'effet de ce régime sur le profil en AG est similaire à celui du régime « P+EMa », exprimé en points jusqu'à - 4,1 d'AGS, - 0,8 de C14:0, - 3,3 de C16:0, + 3,6 d'AGMI, + 3,0 de C18:1c9 et + 0,6 d'AGPI.

Les PL obtenues avec les régimes à base de Foin (« F »), séché au sol (« FS ») ou ventilé en grange (« FV ») sont plus faibles qu'avec le régime « EMa » : jusqu'à - 3,4 kg par jour. Cet effet est plus marqué en race Holstein, et avec le foin séché au sol par rapport au foin ventilé. Les taux sont plus faibles : jusqu'à - 3,9 g/kg de TB et - 1,7 g/kg de TP selon la race et le type de foin. Les écarts sont les plus élevés en race Normande. En Montbéliarde, les régimes à base de foin permettent une légère diminution du pourcentage d'AGS (- 0,3 point) et une hausse de celui d'AGMI et en C18:1c9 (+ 0,4 point). La part de C16:0 est supérieure avec les régimes « FV » (+ 1,0 point) et « FS » (+ 2,0 points). Les AGPI sont présents en même proportion avec les régimes « FV » et « FS », et en proportion inférieure avec le régime « FS ».

En races Holstein et Normande, la PL est inférieure de 1,6 à 1,7 kg et les taux sont inférieurs de 0,5 g/kg avec le régime ensilages de céréales et/ou protéagineux immatures « ECPI » par rapport au régime « EMa ». En race Montbéliarde, l'ECPI augmente le TB de 0,7 g/kg et le TP de 1,1 g/kg. Quelle que soit la race, le lait est moins riche en AGS (- 1,5 à - 3,3 points).

Ces effets sont conformes à la littérature. La relation linéaire entre la part de pâturage dans le régime et les teneurs en AG du lait est documentée : le passage d'un régime « EMa » à un régime mixte ensilage de maïs/pâturage puis à un régime de pâturage seul diminue les pourcentages d'AGS de 4 à 8 points, au profit des AGMI (+ 3 à 6 points) et AGPI (+ 0,7 à 1,5 points) (Peyraud *et al* 2011). La part du C16:0 diminue de 5 à 9 points au profit du C18:1c9 (+ 3 à 7 points) (Chesnais *et al* 2004, Couvreur *et al* 2006). Le C14:0 voit sa part diminuer

Tableau 2. Effets des régimes alimentaires* sur la production laitière, les taux butyreux et protéique et le profil en acides gras du lait de vache – Résultats par race exprimés en écarts ajustés avec la moyenne brute du régime de référence « EMa ».

*Les régimes alimentaires sont décrits dans le tableau 1.

Régime	PL (kg/j)	TB (g/kg)	TP (g/kg)	AGS (% AGT)	AGMI (% AGT)	AGPI (% AGT)	C14:0 (% AGT)	C16:0 (% AGT)	C18:1 c9 (% AGT)	Nombre de spectres
Race HOLSTEIN										
Régime										125 514
EMa (Réf.)	26,35 ^c	40,70 ^{cd}	32,79 ^{de}	69,40 ^d	27,03 ^g	3,53 ^e	12,15 ^h	29,38 ^f	20,33 ^g	16 322
EMa+CC	+ 0,07 ^{bc}	- 0,20 ^e	+ 0,06 ^{cd}	- 0,42 ^f	+ 0,42 ^e	+ 0,03 ^f	- 0,15 ^f	- 0,35 ^g	+ 0,39 ^e	17 726
EMa+bsod	+ 0,01 ^c	+ 0,11 ^c	- 0,10 ^{fh}	- 0,14 ^{de}	+ 0,17 ^f	- 0,03 ^{cd}	- 0,23 ^e	+ 0,68 ^d	+ 0,12 ^f	15 507
EMa+EH	+ 0,20 ^b	+ 0,38 ^b	- 0,06 ^{efg}	+ 0,29 ^c	- 0,25 ^h	- 0,02 ^d	+ 0,03 ^h	+ 0,43 ^e	- 0,13 ^{gh}	9 641
EMa+EG	- 0,56 ^d	+ 0,98 ^a	- 0,26 ⁱ	+ 1,09 ^a	- 0,88 ^j	- 0,22 ^a	+ 0,16 ⁱ	+ 1,54 ^{ab}	- 0,67 ⁱ	7 376
EMa+ER	- 0,40 ^d	- 0,19 ^{de}	+ 0,11 ^{bc}	- 0,21 ^e	+ 0,24 ^f	+ 0,00 ^{de}	- 0,10 ^g	- 0,17 ^f	+ 0,25 ^{ef}	7 217
FS	- 3,42 ^h	+ 0,15 ^{abcdef}	- 0,40 ^{dghijkl}	- 4,68 ⁱ	+ 4,59 ^a	+ 0,14 ^{fg}	- 2,31 ^a	- 1,53 ^{hik}	+ 3,76 ^a	233
F	- 3,08 ^h	- 1,01 ^{ghj}	- 1,50 ^m	- 0,08 ^{cdef}	+ 0,18 ^{efgh}	- 0,05 ^{bcde}	- 0,35 ^{cde}	+ 1,11 ^{bcd}	+ 0,51 ^{ef}	691
FV	- 1,93 ^{fg}	- 1,69 ^{hijk}	- 0,38 ^{efij}	+ 1,78 ^a	- 1,61 ^j	- 0,14 ^{ab}	+ 0,36 ^l	+ 2,36 ^a	- 1,47 ^j	153
EH	- 0,90 ^g	+ 0,49 ^{efg}	- 0,60 ^{ijk}	+ 0,65 ^h	- 0,59 ^c	- 0,06 ^g	+ 0,22 ^b	+ 1,06 ^h	- 0,26 ^{cd}	2 692
ECPI	- 1,72 ^e	- 0,52 ^b	- 0,41 ^{jk}	- 2,36 ^b	+ 2,18 ⁱ	+ 0,18 ^{bc}	- 0,63 ⁱ	- 0,93 ^c	+ 1,61 ^h	1 066
EMa+P	- 0,06 ^c	- 0,73 ^{fg}	- 0,05 ^{efi}	- 1,51 ^g	+ 1,38 ^d	+ 0,15 ^g	- 0,31 ^d	- 1,48 ⁱ	+ 1,25 ^d	19 333
P+EMa	+ 0,43 ^a	- 1,54 ^{jk}	+ 0,15 ^b	- 2,68 ^h	+ 2,40 ^c	+ 0,33 ^h	- 0,41 ^c	- 2,61 ^l	+ 1,80 ^c	21 744
P+F	- 1,13 ^{ef}	- 1,50 ^{hi}	- 0,71 ^k	- 2,71 ^h	+ 2,36 ^c	+ 0,37 ⁱ	- 0,70 ^b	- 1,99 ^k	+ 1,82 ^c	1 410
P	- 0,02 ^{bc}	- 1,70 ^{ik}	+ 0,43 ^a	- 4,15 ⁱ	+ 3,61 ^b	+ 0,57 ^j	- 0,41 ^c	- 3,91 ^m	+ 2,48 ^b	4 403
Race NORMANDE										
Régime										91 408
EMa (Réf.)	19,73 ^f	44,85 ^a	35,38 ^c	72,09 ^b	24,66 ^h	3,21 ^g	12,34 ^{bcd}	30,59 ^{de}	18,60 ^h	15 922
EMa+CC	+ 0,13 ^e	- 0,38 ^b	+ 0,13 ^a	- 0,42 ^c	+ 0,32 ^g	+ 0,13 ^d	+ 0,03 ^{bcd}	- 0,85 ^h	+ 0,18 ^g	10 424
EMa+bsod	- 0,36 ^{gh}	- 0,17 ^{ab}	+ 0,00 ^{bc}	- 0,51 ^{cd}	+ 0,46 ^{fg}	+ 0,08 ^e	- 0,10 ^e	- 0,47 ^g	+ 0,37 ^f	3 757
EMa+EH	+ 0,11 ^{ef}	- 0,21 ^b	+ 0,10 ^{ab}	- 0,51 ^{cd}	+ 0,49 ^f	+ 0,04 ^f	- 0,06 ^e	- 0,33 ^{fg}	+ 0,50 ^f	8 315
EMa+EG	+ 0,35 ^d	+ 0,10 ^a	- 0,04 ^c	+ 0,67 ^a	- 0,60 ⁱ	- 0,06 ^h	+ 0,37 ^a	+ 0,37 ^{bc}	- 0,60 ⁱ	3 999
EMa+ER	- 0,23 ^g	- 0,70 ^c	- 0,57 ^d	- 0,45 ^{cd}	+ 0,41 ^{fg}	+ 0,04 ^f	- 0,09 ^e	+ 0,01 ^{de}	+ 0,42 ^f	2 719
FS	- 3,19 ^j	- 3,51 ^{fg}	- 1,13 ^{ef}	- 1,01 ^d	+ 0,91 ^{ef}	+ 0,16 ^d	+ 0,18 ^{abc}	+ 1,23 ^a	+ 1,12 ^{de}	974
F	- 1,88 ⁱ	- 2,80 ^{ef}	- 1,67 ^f	- 2,91 ^{fg}	+ 2,50 ^{cd}	+ 0,42 ^b	- 0,86 ^{ghi}	- 0,47 ^{efgh}	+ 2,09 ^{bc}	193
FV	- 0,31 ^{fgh}	- 3,92 ^g	- 0,98 ^e	- 0,87 ^d	+ 0,65 ^{fg}	+ 0,31 ^c	+ 0,17 ^b	+ 0,47 ^b	+ 0,59 ^{ef}	330
EH	- 0,64 ^h	- 1,63 ^d	- 1,44 ^f	- 0,66 ^{cd}	+ 0,62 ^{fg}	+ 0,05 ^{ef}	- 0,10 ^{de}	+ 0,49 ^b	+ 0,60 ^{ef}	1 066
ECPI	- 1,61 ⁱ	- 0,07 ^{ab}	- 0,55 ^d	- 1,48 ^e	+ 1,41 ^e	+ 0,10 ^{de}	- 0,80 ^h	- 0,02 ^{cdf}	+ 1,64 ^{cd}	1 210
EMa+P	+ 0,69 ^c	- 0,99 ^c	+ 0,08 ^{abc}	- 2,31 ^{ef}	+ 2,00 ^d	+ 0,33 ^c	- 0,50 ^f	- 1,98 ⁱ	+ 1,51 ^{cd}	10 824
P+EMa	+ 1,38 ^b	- 1,46 ^d	+ 0,14 ^{ab}	- 2,92 ^g	+ 2,58 ^c	+ 0,38 ^b	- 0,60 ^g	- 2,90 ^j	+ 1,99 ^b	23 378
P+F	- 0,39 ^{gh}	- 2,85 ^f	- 0,89 ^e	- 4,08 ^h	+ 3,63 ^b	+ 0,42 ^b	- 0,80 ^h	- 2,14 ⁱ	+ 2,95 ^a	1 142
P	+ 1,61 ^a	- 2,15 ^e	+ 0,13 ^{abc}	- 4,82 ⁱ	+ 4,17 ^a	+ 0,67 ^a	- 0,98 ⁱ	- 3,95 ^k	+ 3,13 ^a	7 155
Race MONTBELIARDE										
Régime										66 579
EMa (Réf.)	23,49 ^d	41,47 ^d	34,13 ^{cd}	71,13 ^b	25,38 ^g	3,47 ^{fg}	12,54 ^a	30,26 ^d	18,87 ^{hi}	1 697
EMa+CC	- 0,49 ^{ef}	+ 0,06 ^d	0,12 ^{bd}	+ 0,04 ^b	+ 0,08 ^g	- 0,07 ^h	- 0,22 ^{bc}	- 0,11 ^{de}	+ 0,24 ^{fgh}	3 381
EMa+bsod	+ 0,08 ^d	+ 0,46 ^b	- 0,10 ^{de}	- 1,18 ^d	+ 1,11 ^d	+ 0,07 ^e	- 0,49 ^d	- 0,03 ^d	+ 0,96 ^d	2 822
EMa+EH	- 0,96 ^{gh}	+ 1,03 ^a	- 0,23 ^{ef}	+ 0,09 ^{ab}	- 0,02 ^g	- 0,08 ^h	- 0,22 ^{bc}	+ 0,79 ^{bc}	+ 0,00 ^{hi}	1 832
EMa+EG	+ 0,34 ^{cd}	+ 0,06 ^{cd}	- 0,07 ^{de}	+ 0,36 ^a	- 0,34 ^h	+ 0,02 ^f	+ 0,12 ^a	+ 0,75 ^c	- 0,12 ⁱ	1 788
EMa+ER	- 0,68 ^f	+ 0,42 ^{bc}	- 0,11 ^{de}	- 0,46 ^c	+ 0,49 ^e	- 0,03 ^g	- 0,47 ^d	- 0,08 ^{de}	+ 0,53 ^e	4 187
FS	- 1,99 ⁱ	- 0,74 ^f	- 0,65 ^g	+ 0,04 ^{ab}	+ 0,10 ^g	- 0,14 ⁱ	- 0,26 ^c	+ 1,95 ^a	+ 0,20 ^{gh}	6 208
F	- 1,29 ^{gh}	- 1,07 ^g	- 0,40 ^f	- 0,10 ^b	+ 0,20 ^{fg}	- 0,06 ^h	- 0,15 ^b	+ 0,97 ^{bc}	+ 0,34 ^{efg}	5 026
FV	- 1,07 ^{gh}	- 1,14 ^g	- 0,63 ^g	- 0,34 ^c	+ 0,37 ^{ef}	- 0,02 ^g	- 0,14 ^b	+ 1,04 ^b	+ 0,43 ^{ef}	11 996
EH	+ 0,11 ^{bcde}	- 1,55 ^{gh}	- 1,34 ^h	- 1,19 ^d	+ 1,08 ^d	+ 0,20 ^d	- 0,59 ^{deg}	- 0,97 ^f	+ 1,19 ^d	211
ECPI	+ 0,01 ^{abdeg}	+ 0,76 ^{abde}	1,10 ^a	- 3,28 ^{ef}	+ 3,15 ^{ab}	+ 0,04 ^{defgh}	- 1,08 ^{fhi}	- 1,08 ^{ef}	+ 2,90 ^{ab}	112
EMa+P	- 0,02 ^d	- 0,56 ^{ef}	- 0,19 ^e	- 2,12 ^e	+ 1,98 ^c	+ 0,19 ^d	- 0,69 ^{ef}	- 1,42 ^f	+ 1,82 ^c	3 509
P+EMa	+ 0,79 ^a	- 0,65 ^{ef}	- 0,18 ^{de}	- 3,59 ^{de}	+ 3,32 ^b	+ 0,33 ^c	- 0,87 ⁱ	- 3,03 ^g	+ 2,97 ^{ab}	3 915
P+F	+ 0,45 ^c	- 1,73 ^h	- 0,07 ^{de}	- 3,76 ^{de}	+ 3,29 ^b	+ 0,57 ^b	- 0,83 ^{gh}	- 3,32 ^h	+ 2,81 ^b	6 007
P	+ 0,74 ^{ab}	- 1,75 ^h	0,27 ^b	- 4,91 ^b	+ 4,23 ^a	+ 0,75 ^a	- 0,99 ⁱ	- 4,17 ⁱ	+ 3,11 ^a	13 888

Les résultats ayant des lettres différentes sont significativement différents entre eux au seuil P < 0,01 (la lettre a correspondant à la moyenne ajustée la plus élevée).

de 0,9 à 1,6 % lorsque la part de pâturage augmente (Peyraud *et al* 2011). Ces écarts seraient dus principalement aux différences de profil en AG du fourrage : l'herbe est riche en C18:3 n-3 tandis que l'EMA est riche en C18:2 n-6 et en C18:1c9 (Ferlay *et al* 2006, Peyraud *et al* 2011). Ainsi, le C18:1c9 présent dans l'EMA est directement hydrogéné en C18:0 et exporté dans le lait (Peyraud *et al* 2011) tandis que l'apport plus important d'AGPI par l'herbe verte concourt à l'augmentation de ces mêmes AG dans le lait, malgré leur hydrogénation partielle. Les écarts plus importants observés en race Montbéliarde, plus présente en zones de montagne, sur les teneurs en AGPI s'expliqueraient par la présence dans la flore des prairies de montagne de polyphénols et de terpènes, composés inhibant la bio-hydrogénation des AGPI dans le rumen (Lucas *et al* 2006).

Les conclusions des études sur l'effet de l'herbe conservée sur le profil en AG du lait ne convergent pas vers une même conclusion selon le type d'herbe, le mode de conservation et la complémentation associée. Chenais *et al* (2004), Houssin *et al* (2003 et 2005) et Ferlay *et al* (2006) ont observé une hausse des pourcentages d'AGS avec des régimes contenant de l'ensilage d'herbe par rapport à de l'ensilage de maïs contrairement à Chilliard *et al* (2008) et Peyraud *et al* (2011). De même, Houssin *et al* (2005) rapportent des pourcentages d'AGS plus élevés avec du foin, contrairement à Houssin *et al* (2003) et Peyraud *et al* (2011). Ces derniers concluent que les effets de l'herbe conservée sur les AGS et les AGMI sont très modérés voire inexistantes. On retrouve cependant dans l'enquête

PhénoFinLait les effets négatifs de l'ensilage d'herbe sur la PL et les taux décrits dans la littérature (Martin *et al* 2002, Houssin *et al* 2003 et 2005, Ferlay *et al* 2006, Chilliard *et al* 2008). Les effets différents observés entre races avec le régime EH s'expliqueraient par les fourrages associés à l'ensilage d'herbe (qui représente environ 50% de la ration) : le plus souvent de l'EMA en Holstein, du foin en Montbéliarde et du pâturage en Normande. On retrouve bien dans l'étude *PhénoFinLait* l'effet positif de l'herbe verte sur les pourcentages d'AGI en race Montbéliarde.

c) Effets de la saison

Après correction des autres effets retenus dans le modèle, on observe une cyclité de la PL et des taux au cours du temps (figure 2). La PL est minimale de juillet à décembre et maximale de mars à mai, l'écart entre ces deux périodes étant de 1,3 kg/j en Holstein, 1,7 kg/j en Normande et 2,8 kg/j en Montbéliarde. Les courbes d'évolution des taux sont parallèles entre elles et inverses à celle de la PL. Le TB est minimal en été et maximal en hiver. L'écart maximal observé est de 2,6 à 3,1 g/kg selon la race. L'amplitude des variations du TP est de 1,8 à 2,8 g/kg selon la race. Ces résultats ne confirment que partiellement ceux de Coulon *et al* (1991) qui rapportent une PL maximale en juin et minimale en décembre avec des écarts maximaux de 2,5 kg/j ainsi que des taux minimaux en été et maximaux en hiver, et suggèrent un effet de la photopériode ainsi qu'un lien avec une modification des équilibres hormonaux. L'évolution des pourcentages d'AGS suit la courbe

du TB. A l'inverse des AGMI, les parts d'AGS sont maximales en hiver et minimales en été, avec un écart de 2,3 à 3,2 points selon la race. Les courbes d'évolution du C14:0 et du C16:0 sont de même forme avec des écarts respectifs de 0,7 à 1,3 et 2,8 à 3,3 points entre les mois extrêmes. On observe une hausse du pourcentage du C16:0 dans les trois races en été. Les pourcentages d'AGPI sont maximaux en mai et minimaux de décembre à février, avec des écarts de 0,3 à 0,5 point.

2.2 / Chez les caprins

a) Effets de facteurs physiologiques

Le stade de lactation

La PL maximale de 4,07 kg/jour est observée entre 30 et 59 jours de lactation avec une baisse de 0,44 kg/jour pour le stade le plus avancé entre 210 et 289 jours. Cette baisse est modérée par rapport aux résultats du contrôle laitier (Institut de l'Élevage et FCEL 2011 et 2013) et aux modèles proposés par Puillet *et al* (2012) et Sauvart *et al* (2012). L'évolution du TB et du TP est inverse à celle de la PL avec respectivement des minima de 37,35 et 31,87 g/kg et une augmentation de 1,3 et 1,8 g/kg en fin de lactation. Ces évolutions ont les mêmes ordres de grandeur que celles proposées par Sauvart *et al* (2012).

La part des AGS (en % des AGT), illustrée dans la figure 3, augmente en moyenne de 0,9 point du début de lactation au tarissement. Jusqu'à 120 jours environ l'augmentation est maximale (1,2 points), puis cette part se stabilise et la tendance s'inverse sensiblement au-delà

Figure 2. Evolution de la production laitière, des taux butyreux et protéique, et des principaux acides gras du lait de vache (race Montbéliarde, n = 66 579). au cours de l'année en mois*.

*Le mois de décembre (D) est pris comme référence graphique (ordonnée zéro).

Les mois de mars et avril (M-A), juillet et août (J-A), septembre, octobre et novembre (S-O-N) ont été rassemblés en classes pour obtenir suffisamment de données par classe.

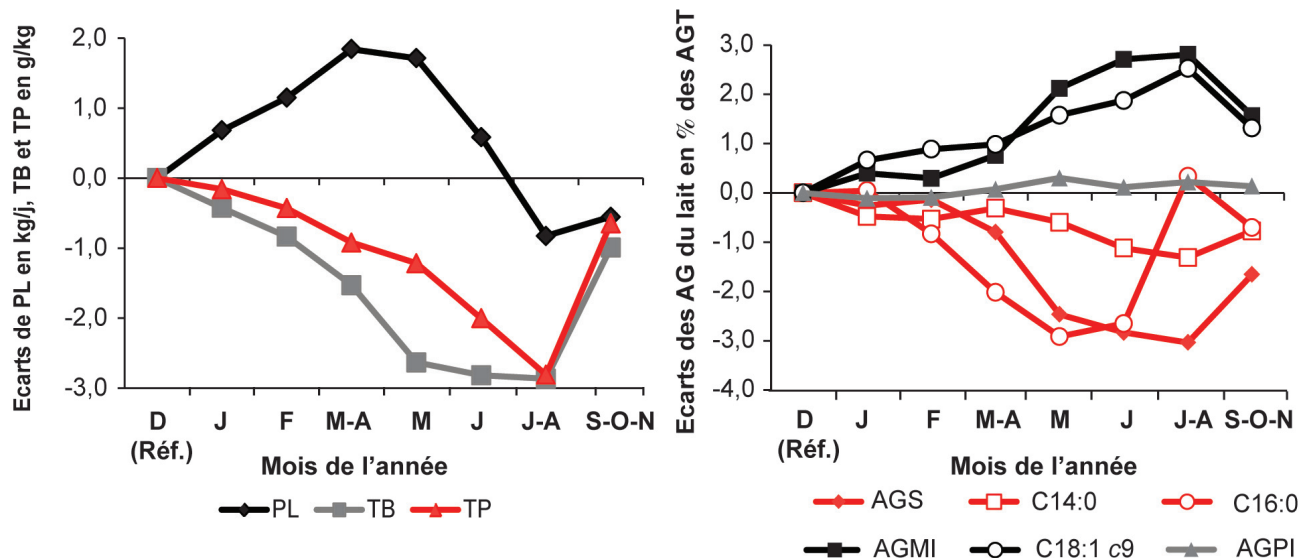


Figure 3. Evolution de la production laitière, des taux butyreux et protéique, et de certains acides gras du lait de chèvre en fonction du stade de lactation exprimé en classes et en jours*.

*Le stade 8 à 30 jours (Réf.) en jours sert de référence graphique (ordonnée zéro).

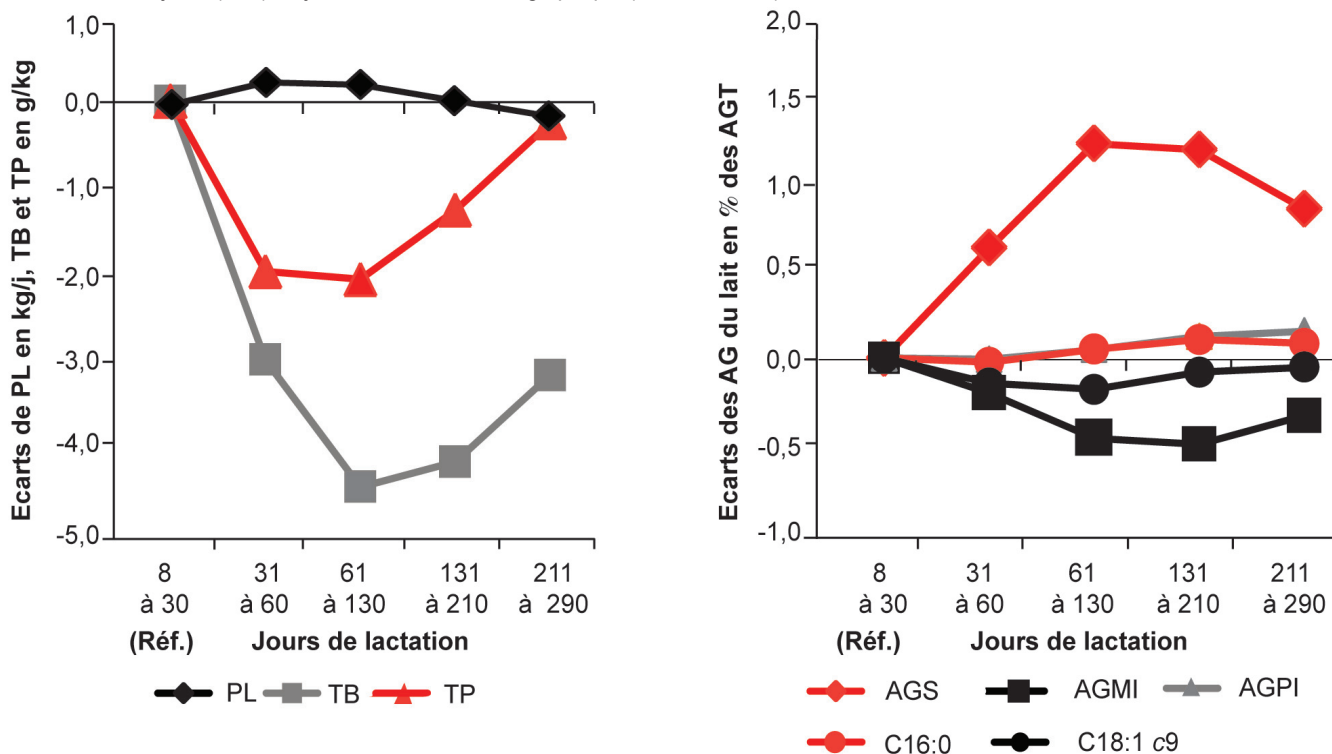
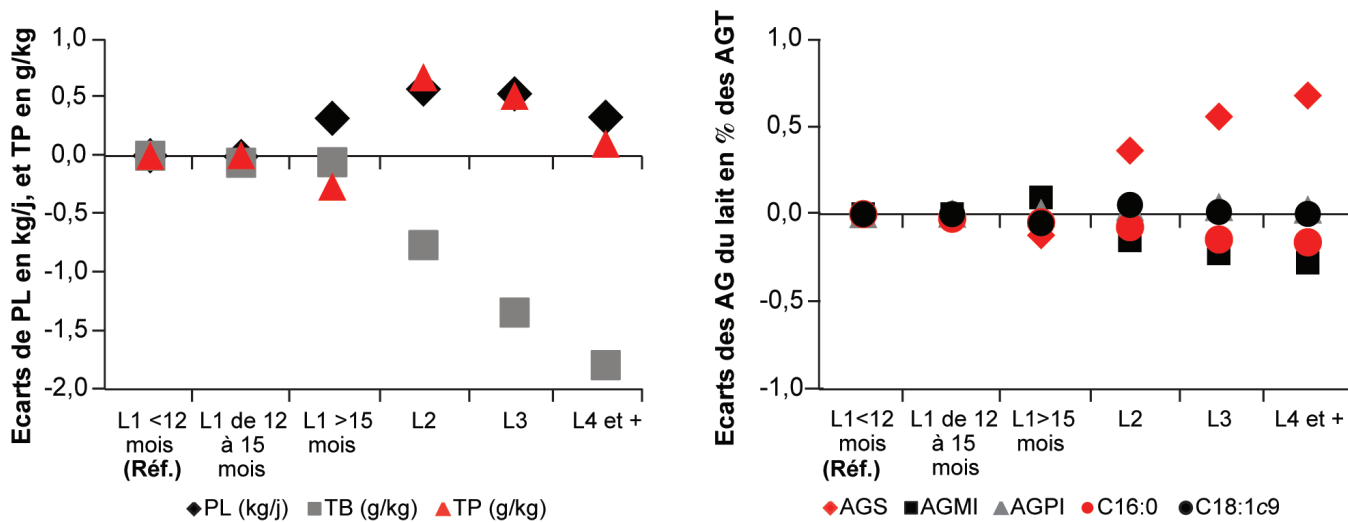


Figure 4. Evolution de la production laitière, des taux butyreux et protéique, et des principaux acides gras du lait de chèvre en fonction de l'âge à la 1^{ère} mise bas (en mois) et du rang de lactation (L)*.

*L'âge à la mise bas (L1 < 12 mois) est la référence (Réf.) avec une valeur d'ordonnée à zéro.



de 210 jours de lactation. Les pourcentages d'AGMI évoluent de façon opposée aux AGS, avec une diminution globale de 0,3 point au cours de la lactation et une légère inversion de la tendance en fin de lactation. Ces évolutions sont semblables pour les 3 espèces de ruminants, en revanche l'évolution positive, lente mais continue des AGPI en cours de lactation (0,15 point du début à la fin de lactation), indépendamment de la saison, est propre aux caprins et confirme les conclusions de Strzalkowska *et al* (2009).

L'âge à la 1^{ère} mise bas et le rang de lactation

Comme la figure 4 l'illustre, les chèvres qui mettent bas après 15 mois (vs avant 12 mois) ont, en L1, une PL supérieure (0,32 kg/jour) et des taux butyreux et protéique plus faibles (respectivement 0,55 et 0,27 g/kg), ces différences étant hautement significatives. Avec l'augmentation de l'âge à la première mise bas, les pourcentages d'AGS et de C16:0 diminuent légèrement de 0,12 point au profit des AGMI (figure 4). Les AGPI

ont une part dans les AGT du lait peu modifiée entre ces 2 âges. Ces écarts, de faibles ampleurs mais néanmoins significatifs pour les AGS et les AGMI, n'ont pas pu être confrontés à la bibliographie caprine inexistant sur ce facteur.

Le rang de lactation a également un effet significatif sur les performances laitières des chèvres. La PL est maximale en L2 et L3 et minimale en L1. Le TB est maximal en L1 et minimal en L4 et +. Le TP est minimal en L1 et maximal en L2. La tendance de ce dernier résultat

Tableau 3. Effets des régimes alimentaires* sur la Production Laitière (PL), les Taux Butyreux (TB) et Protéique (TP) et les grandes familles d'acides gras du lait de chèvre – Résultats exprimés en écarts ajustés avec la moyenne brute de la modalité de référence pour chaque facteur.

*Les régimes alimentaires sont décrits dans le tableau 1.

	PL (kg/l)	TB (g/kg)	TP (g/kg)	AGS (% AGT)	AGMI (% AGT)	AGPI (%AGT)	C16:0 (%AGT)	C18:1c9 (% AGT)	Nombre de spectres
Régime alimentaire < 3,5% MG									
FL (Réf.)	3,67 ^a	38,67 ^a	33,24 ^a	75,92 ^a	20,95 ^a	3,92 ^a	29,58 ^a	16,17 ^a	29970
FV	0,79 ^b	- 6,64 ^b	- 0,29 ^{ab}	- 0,4 ^b	- 0,08 ^{ab}	0,24 ^b	- 0,96 ^b	0,16 ^{ab}	4528
FM	0,06 ^{ac}	- 0,88 ^c	0,08 ^{abc}	- 0,33 ^{bc}	0,09 ^c	0,09 ^c	- 0,13 ^c	0,65 ^c	9918
EH+FG	0,09 ^{acd}	3,08 ^d	0,42 ^a	- 0,75 ^d	0,39 ^d	- 0,15 ^d	- 0,02 ^{ad}	0,22 ^{bd}	4743
Pat	0,37 ^e	1,01 ^e	- 0,53 ^{be}	- 1,88 ^e	1,25 ^e	0,12 ^{ce}	0,01 ^{ade}	0,99 ^e	5822
P+FL	- 0,3 ^f	0,4 ^{aef}	- 1,24 ^f	0,65 ^{fg}	- 0,17 ^{bf}	- 0,44 ^{fg}	0,49 ^{fg}	- 0,78 ^f	8625
FG	0,27 ^g	1,7 ^g	0,02 ^{abcg}	0,03 ^{ag}	- 0,21 ^{fg}	- 0,13 ^{dg}	- 0,02 ^{adeg}	0,21 ^{bdg}	11212
EH+FM	0,17 ^{dh}	- 0,65 ^{ch}	- 0,78 ^h	- 0,21 ^h	0,19 ^h	- 0,1 ^h	- 0,03 ^{adegh}	- 0,13 ^h	9703
EMa+TS	0,26 ^{gi}	0,48 ^{eh}	- 0,44 ^{bei}	- 0,43 ^{bi}	0,13 ^{ci}	- 0,1 ^{hi}	- 0,11 ^{ci}	0,42 ⁱ	27167
P+LD	- 0,37 ^j	6,63 ^j	1,06 ^j	0,53 ^{jl}	0,23 ^{hj}	- 0,14 ^{dghj}	0,41 ^j	0,42 ^j	2156
EMa+LD	0,46 ^{ek}	- 2,67 ^k	- 0,01 ^{abckgk}	- 0,17 ^{hk}	0,04 ^k	0,17 ^k	- 0,34 ^k	0,32 ^{bdj}	13368
Régime alimentaire ≥ 3,5% MG									
FL (Réf.)	3,91 ^a	38,63 ^a	31,98 ^a	75,81 ^a	20,96 ^a	3,81 ^a	29,59 ^a	16,2 ^a	4478
FV	- 0,24 ^{ab}	- 4,01 ^{ab}	0,59 ^{ab}	- 0,55 ^{ab}	- 0,01 ^{ab}	0,35 ^{ab}	- 0,5 ^{ab}	0,31 ^{ab}	677
FM	0,05 ^{abc}	3,17 ^{ac}	1,47 ^{ac}	- 0,01 ^{abc}	0,02 ^{abc}	- 0,05 ^{ac}	0,76 ^{ac}	1,18 ^{ac}	1482
EH+FG	- 0,02 ^{abcd}	0,39 ^{ad}	1,64 ^{ad}	- 0,85 ^{ad}	0,88 ^{ad}	- 0,06 ^{acd}	- 0,44 ^{abd}	- 0,45 ^{ad}	709
Pat	0,19 ^{ace}	- 5,8 ^e	0,24 ^{abe}	- 1,68 ^e	0,9 ^{ade}	0,49 ^{ae}	- 0,41 ^{abde}	0,63 ^{ae}	870
P+FL	- 0,62 ^{af}	2,58 ^{acf}	- 0,19 ^{aef}	- 0,71 ^{abdf}	0,79 ^{adef}	- 0,44 ^f	0,3 ^f	1,13 ^{acf}	1289
FG	- 0,1 ^{abcdg}	2,92 ^{acfg}	0,94 ^{abcg}	- 0,58 ^{abfg}	- 0,54 ^{ag}	0,03 ^{acg}	- 3,13 ^{ag}	0,59 ^{avg}	1675
EH+FM	0,02 ^{abcdeh}	2,98 ^{acth}	0,66 ^{abcen}	- 1,76 ^{eh}	0,04 ^{abch}	0,09 ^{ach}	- 0,29 ^{abdegh}	1,8 ^h	1450
EMa+TS	0,28 ^{acei}	- 4 ^{aci}	0,56 ^{abi}	- 0,81 ^{abi}	0,09 ^{abchi}	0,33 ^{abi}	- 0,63 ^{abi}	0,86 ^{aci}	4059
P+LD	- 0,39 ^{abcfj}	4,15 ^{acghj}	1,71 ^{acdj}	0,81 ^{aj}	0,63 ^{afj}	0,06 ^{achj}	0,4 ^{acfj}	0,87 ^{acafuj}	322
EMa+LD	0,21 ^{aceni}	- 4,44 ^{abik}	0,77 ^{abckgk}	- 0,06 ^{ack}	- 1,19 ^k	0,4 ^{abgk}	- 0,35 ^{abghj}	1,6 ^{abgk}	1998
Part de fourrage dans la ration en % MS									
≤ 40% (Réf.)	3,94 ^a	38,24 ^a	33,05 ^a	75,74 ^a	21,16 ^a	3,92 ^a	29,33 ^a	16,05 ^a	25150
] 40% - 60% [- 0,09 ^b	0,98 ^b	- 0,22 ^b	- 0,31 ^b	- 0,04 ^b	- 0,08 ^b	0,20 ^b	0,66 ^b	88609
≥ 60 %	- 0,13 ^c	0,84 ^{bc}	- 0,48 ^c	- 0,51 ^c	- 0,14 ^c	- 0,05 ^c	0,23 ^{bc}	1,13 ^c	32461
Effet race									
Alpine	3,801 ^a	39,791 ^a	33,28 ^a	75,51 ^a	21,02 ^a	3,87 ^a	29,35 ^a	16,62 ^a	76619
Saanen	0,138 ^b	- 1,88 ^b	- 0,92 ^b	- 0,09 ^b	0,16 ^b	0,03 ^b	0,24 ^b	0,05 ^b	69601
Effet du mois de mise bas									
janvier (Réf.)	3,87 ^a	38,67 ^a	32,66 ^a	75,50 ^a	21,09 ^a	3,87 ^a	29,44 ^a	16,65 ^a	48399
février	0,09 ^b	- 0,02 ^{ab}	- 0,15 ^b	- 0,02 ^{ab}	0,00 ^{ab}	- 0,01 ^b	0,00 ^{ab}	- 0,05 ^b	34508
mars	0,17 ^c	- 0,09 ^{abc}	- 0,23 ^c	- 0,11 ^c	0,04 ^c	0,00 ^{abc}	- 0,03 ^c	- 0,08 ^{bc}	14183
avril- août	0,06 ^{bd}	0,32 ^d	0,06 ^{ad}	- 0,08 ^{cd}	0,03 ^{cd}	0,00 ^{abcd}	0,01 ^d	- 0,03 ^{abd}	5264
sept- octobre	- 0,24 ^e	0,61 ^e	0,73 ^e	0,03 ^{ae}	0,00 ^{abde}	0,04 ^e	0,12 ^e	0,08 ^e	25589
nov- décembre	- 0,09 ^f	0,28 ^d	0,54 ^f	0,01 ^{abe}	0,01 ^{abde}	0,04 ^e	0,05 ^f	0,06 ^e	18278

n'est pas confirmée par le contrôle de performances (Institut de l'Élevage et FCEL 2013) qui situe le meilleur TP du lait en L1.

Par rapport à L1, la part moyenne des AGS du lait des chèvres a tendance à augmenter respectivement pour les rangs suivants : + 0,35, + 0,55 et + 0,67 point en L2, L3 et L4 et + (figure 4). L'évolution du C16:0 est en revanche inverse (- 0,15 point entre la classe la plus âgée et la plus jeune). Une augmentation des AGPI est aussi constatée, avec moins d'ampleur absolue (0,03 à 0,04 point). À l'inverse, les parts d'AGMI diminuent avec le rang de lactation, respectivement de - 0,15, - 0,22 et - 0,28 point pour L2, L3 et L4 et +.

b) Effets des facteurs alimentaires

Le type de régime alimentaire

Les régimes alimentaires ont été déterminés selon la méthode décrite dans le

paragraphe 1.2.b et sont résumés dans le tableau 1. L'introduction dans le modèle d'analyse de l'interaction « Type de ration × teneur en MG » permet d'étudier séparément les types de rations peu enrichies en MG (< 3,5% de la MS) et celles davantage enrichies en MG (≥ 3,5%). Le tableau 3 présente les écarts des principales familles d'AG entre types de rations par rapport à celle à base de foin de légumineuses (régime « FL »). La dénomination « Foin » est relative à un séchage au sol tandis que le séchage en grange ne concerne que les « Foins Ventilés » (« FV »).

Les régimes alimentaires peu enrichis en matières grasses

Lorsque les rations ont une teneur modérée en MG (< 3,5% de la MS) ce qui est le cas de 87% des rations, la PL est significativement supérieure avec du foin ventilé (régime « FV ») : + 0,33 à + 1,33 kg/jour par rapport aux autres régimes. Par rapport au régime « FL »,

utilisé comme référence pour les chèvres, « FV » se situe à + 0,8 kg de lait/jour. L'écart de TB obtenu avec « FV » est le plus négatif avec - 6,6 g/kg comme celui du régime avec ensilage de maïs complétement à la luzerne déshydratée (« EMa+LD ») qui est à - 2,7 g/kg. Globalement les régimes à base de foin (excepté « FV ») et les régimes à base d'Ensilage d'Herbe (« EH+F* ») conduisent aux TB les plus élevés. Cet effet du type de fourrage ne se retrouve pas dans le classement du TP qui peut présenter un écart maximum de 2,3 g/kg entre les différents régimes « foins ».

Lorsque les rations ont une teneur modérée en MG (< 3,5%), aucun des régimes alimentaires n'influence significativement l'ensemble des AG du lait de chèvres prédits (en % des AGT) dans cette étude, seuls quelques régimes influencent certaines familles d'AG.

Les rations avec du pâturage ou de l'affouragement en vert (régime « Pat »),

de l'ensilage d'herbe avec du foin de graminée (régime « EH+FG ») et le régime « FV », induisent des pourcentages d'AGS un peu plus faibles, respectivement - 1,9, - 0,7 et - 0,4 point par rapport au régime « FL ». Les compensations en AGI sont aussi de faible amplitude et touchent de façon variable selon les régimes, les AGMI (+ 1,2 points pour « Pat », + 0,4 pour « EH+FG », sans effet pour « FV »), mais aussi les AGPI (+ 0,12 point pour « Pat », - 0,15 pour « EH+FG » et + 0,24 pour « FV »). Ces tendances, bien que de faible ampleur, sont conformes aux observations faites dans les autres espèces de cette étude et aux résultats de Chilliard *et al* (2001) chez la vache et de Chilliard *et al* (2003) et de Ataşođlu *et al* (2009) chez la chèvre.

Les autres types de rations engendrent encore moins d'écarts pour ces familles d'AG car en accompagnement du fourrage dominant qui nomme le type de régime, d'autres fourrages différents, très fréquemment des foins, sont distribués. Cette diversité d'aliments en conduite caprine (tableau 1) explique sans doute ces faibles écarts (tableau 3). C'est le cas, par exemple de l'ensilage de maïs pour les régimes « EMa+TS » et « EMa+LD » où le maïs ne représente que 35 et 21% de la MS ingérée. Aussi les profils d'AG des laits de chèvres issus de ces régimes avec ensilage de maïs ne se différencient pas de la plupart des autres types de ration, contrairement aux observations sur les bovins, par davantage d'AGS. Ces faibles différences entre les régimes à base d'ensilage de maïs et ceux à base de foin avaient déjà été mises en évidence (Chilliard *et al* 2002).

Les régimes alimentaires enrichis en matières grasses

Ces régimes (MG \geq 3,5% de la MS) concernent 13% des observations. Les regroupements de régimes enrichis en MG par grand type de fourrage ne permettent pas de mettre en évidence d'effet systématique de l'enrichissement en MG sur les performances laitières des chèvres. Ainsi les variations de TB peuvent être importantes au sein d'un même groupe fourrager : 34,6 à 42,8 g/kg pour les Foins (« F* ») et 39,0 à 41,6 g/kg pour les ensilages d'herbe (« EH-F* »). La baisse de TB qui a pu être constatée avec certains régimes supplémentés en MG « Pat », « EM+TS », « EM+LD ») est surprenante et n'est pas confirmée par la bibliographie (Leduc *et al* 1997, Schmidely et Sauvart 2001).

Les effets des rations enrichies en MG (> 3,5%) sur la composition en AG du lait sont plus variables et de plus grande ampleur que pour les rations plus pauvres en MG (< 3,5%). Comme précédemment, aucune ration riche en MG n'influence

de façon significative l'ensemble du profil en AG du lait. Si les régimes « Pat » et « EH+F* » induisent moins d'AGS (- 1,7 à - 1,8 points pour chacun d'eux), la plupart des laits issus des autres régimes en ont aussi moins qu'avec le régime « FL », seul le régime « P+LD » induit davantage d'AGS (+ 0,8 point). Les fluctuations du C16:0 sont plus importantes que précédemment, particulièrement pour le régime avec du Foin de Graminées (« FG »), et ne vont pas toujours dans le même sens que celles des AGS. Ces diminutions de la part d'AGS, exprimées en points, sont compensées par d'avantage d'AG insaturés : soit à la fois les AGMI et les AGPI pour le régime « Pat » (+ 0,9 et + 0,5), soit uniquement les AGMI pour « EH+FG » (+ 0,9), soit uniquement les AGPI pour « FV » (+ 0,3) et « EMa+TS » (+ 0,3).

La part de fourrage dans la ration

La PL baisse légèrement avec l'augmentation de la part des fourrages dans la ration (- 0,13 kg/jour lorsque la part de fourrage passe de 40 à plus de 60% dans la ration). Le TP du lait diminue de 0,5 tandis que le TB augmente de 0,8 g/kg. Ces effets sont en accord avec la bibliographie (Leduc *et al* 1997, Schmidely et Sauvart 2001).

Cette étude n'a pas mis en évidence d'effet de la « part de fourrage dans les rations caprines » sur la composition en AG du lait obtenu dans les conditions de *PhénoFinlait*. Une étude complémentaire n'a pas non plus montré d'effet des indicateurs % de concentré, % de cellulose brute, % de NDF issu des fourrages et % d'amidon sur la composition en AG du lait. Une grande part de la variabilité des AG du lait, éventuellement liée à ces indicateurs de la ration, est déjà expliquée par la typologie des régimes alimentaires.

c) Effets de la saison de mise bas

Le mois de mars apparaît comme le mois de mise bas qui permet la PL la plus élevée (+ 0,4 kg/jour par rapport aux mois de septembre-octobre). Pour les TB et TP du lait de chèvre c'est l'inverse (respectivement moins 0,7 et 0,96 g/kg). Si les meilleurs TB et TP des laits issus des mise bas d'automne sont confirmés par les résultats de contrôle laitier en France, en revanche les écarts de PL ne le sont pas, la PL n'étant pas affectée par la période de mise bas (Institut de l'Elevage et FCEL 2011).

Les différences de composition en AG du lait en fonction du mois de mise bas sont très ténues. Les mises bas désaisonnées en septembre et octobre induisent, de façon significative, davantage d'AGS (+ 0,17 point par rapport à mars) et d'AGPI (+ 0,05 point). Le manque de

résultats bibliographiques sur l'effet de la saison de mise bas ne permet pas de développer ce levier, apparemment faible, avant de plus amples vérifications.

d) Effets de la race

La moindre PL des chèvres de race Alpine par rapport aux chèvres Saanen (- 0,14 kg/jour) s'accompagne de taux supérieurs (+ 1,9 g/kg de TB et + 0,9 g/kg de TP). Ces résultats sont globalement confirmés par les résultats des contrôles laitiers en France (Institut de l'Elevage et FCEL 2013).

Quoique significative, la différence de composition en AG entre les races Alpine et Saanen est très faible. La Saanen produit un lait avec moins d'AGS (0,09 point) et de C16:0 (0,24 point) que l'Alpine. Il n'existe pas d'étude dans la bibliographie sur ce point.

2.3 / Chez les ovins

L'analyse a été réalisée par bassin de production compte tenu de l'association entre bassin de production, races et systèmes d'élevage. Dans le bassin des PA, seule la race Manech Tête Rousse (MTR) est retenue dans l'étude *PhénoFinlait*, la race Lacaune étant présente dans le RR.

En élevage ovin, le protocole de contrôle laitier ne concerne que les brebis en première et deuxième lactation avec un échantillonnage uniquement à la traite du matin au cours de 4 contrôles mensuels positionnés en milieu de lactation. Ainsi, les données individuelles ne donnent qu'une vision partielle du lait produit par l'élevage. C'est pourquoi, l'analyse des facteurs d'élevage porte sur la composition du lait obtenue à partir d'un échantillon de lait de mélange (lait de tank) pris le jour du contrôle laitier.

a) Effets des facteurs physiologiques

Le stade de lactation

Après la période d'un mois consacré à l'allaitement des agneaux, le premier contrôle laitier a lieu à environ 45 jours après la mise bas pour les deux bassins. L'effet du stade de lactation a été étudié intra-régime alimentaire, car la saison de pâturage dans le RR n'intervient que dans les 2 à 4 derniers mois de lactation alors qu'il peut être présent tout l'hiver dans les PA.

En prenant comme exemple la race Lacaune, la PL décroît de 0,2 à 0,4 kg/mois selon le régime alimentaire (tableau 4). En 5 mois de traite, le TB augmente de 13 à 15 g/kg avec un ralentissement au-delà de 150 jours de lactation. Le TP du lait augmente également de 12 à 14 g/kg.

Ces évolutions sont conformes aux résultats de contrôle laitier (Institut de l'Élevage et FCEL 2013) et aux courbes modèles (Frayse *et al* 1996).

En race Lacaune dans le RR (tableau 4), les pourcentages d'AGS dans les AGT des laits augmentent en moyenne de 1,8 points jusqu'à 90 jours de lactation (0,6 à

2,5 points selon le régime) pour ensuite diminuer jusqu'à la fin de la lactation. La part d'AGMI a une évolution inverse (chute de 1,6 points de la situation initiale pour en regagner 1,1 en fin de lactation), tandis que celle des AGPI reste stable au cours de la période traite. En race MTR, les mêmes tendances sont constatées.

Tableau 4. Evolution des principales familles d'acides gras (en % des AGT et en écarts à la référence) du lait de brebis en fonction du rang de lactation et de l'âge à la mise bas pour les races MTR et Lacaune.

Race	Rang de lactation	Age à la mise bas (mois)	AGS	AGMI	AGPI	C16:0
MTR	1 (Réf.)	< 20	72,47	21,22	3,80	26,21
	1	≥ 20	1,36	- 1,92	- 0,06	- 0,20
	2	< 30	1,85	- 2,18	- 0,11	- 0,20
	2	≥ 30	1,98	- 2,35	- 0,12	0,01
Lacaune	1 (Réf.)	< 20	72,75	20,47	4,25	25,32
	1	≥ 20	0,92	- 0,84	- 0,01	0,01
	2	< 30	1,68	- 1,62	- 0,08	0,09
	2	≥ 30	1,74	- 1,65	- 0,04	0,32

L'âge à la mise bas et le rang de lactation

Les effets de l'âge à la première mise bas et du rang de lactation (L1 et L2) ont été étudiés (tableau 5). Respectivement pour la Lacaune et la MTR, un premier agnelage à plus de 20 mois se traduit en L1 par une plus forte teneur en AGS de l'ordre de 1 à 1,4 points, par rapport aux teneurs observées lorsque le premier agnelage intervient à moins de 20 mois. La diminution des pourcentages d'AGMI

Tableau 5. Evolution de la production laitière, des taux butyreux et protéique et des principales familles d'acides gras du lait de brebis en race Lacaune en fonction du stade de lactation et du régime alimentaire*. Les données sont exprimées en écarts par rapport à la période de référence.

* Les régimes alimentaires sont décrits dans le tableau 1.

Critères	Stade de lactation (jours)	Régime alimentaire						
		EH	EH+EMa	FL	FM	FV	PG	PM
PL kg/ jour	≤ 60	0,80	0,83	0,66	0,50	0,73		
	61-90	0,35	0,40	0,29	0,25	0,34		
	91-120 (Réf.)	1,78	1,91	1,71	1,79	1,75	1,99	1,92
	121-150	- 0,12		- 0,06	- 0,33	- 0,38	- 0,26	- 0,25
	151-180						- 0,55	- 0,57
	> 180						- 0,91	- 0,83
TB g/kg	≤ 60	- 7,22	- 9,35	- 5,98	- 5,84	- 7,29		
	61-90	- 4,87	- 7,56	- 4,54	- 4,27	- 5,14		
	91-120 (Réf.)	69,81	74,62	68,88	67,62	71,51	72,74	73,54
	121-150	5,15		11,43	7,64	7,12	2,94	1,86
	151-180						7,21	7,55
	> 180						8,39	9,41
TP g/kg	≤ 60	- 6,05	- 7,68	- 5,61	- 5,68	- 6,66		
	61-90	- 3,87	- 4,46	- 3,92	- 3,38	- 4,14		
	91-120 (Réf.)	52,65	53,41	53,15	52,37	54,66	53,60	53,83
	121-150	3,54		6,17	4,65	4,46	3,24	2,96
	151-180						5,08	5,08
	> 180						6,24	5,53
AGS (% AGT)	≤ 60	- 0,62	- 0,09	- 0,29	- 2,37	- 1,92		
	61-90	- 0,03	1,83	1,15	- 0,94	0,66		
	91-120 (Réf.)	80,29	80,47	80,08	80,94	79,68	77,29	76,26
	121-150	- 0,59		- 5,49	- 3,55	- 0,06	- 1,01	- 0,23
	151-180						- 1,63	- 1,91
	> 180						- 3,26	- 3,11
AGMI (% AGT)	≤ 60	0,56	0,15	0,42	2,14	1,69		
	61-90	0,05	- 1,13	- 0,85	0,67	- 0,41		
	91-120 (Réf.)	16,68	16,34	16,74	16,22	17,05	18,94	19,77
	121-150	0,41		4,79	3,11	0,31	0,64	0,14
	151-180						1,46	1,84
	> 180						3,19	2,95
AGPI (% AGT)	≤ 60	- 0,06	- 0,29	- 0,17	- 0,03	- 0,15		
	61-90	- 0,02	- 0,72	- 0,12	0,16	- 0,18		
	91-120 (Réf.)	3,81	4,05	3,81	3,78	3,93	4,42	4,79
	121-150	0,09		0,77	0,29	- 0,23	0,4	0,02
	151-180						0,28	- 0,02
	> 180						0,15	- 0,01

est de 0,9 à 1,9 points, tandis que les AGPI évoluent peu. Cette évolution se poursuit en L2 avec moins d'ampleur. Les autres lactations ne sont pas contrôlées.

b) Effets des facteurs alimentaires

Les régimes alimentaires ont été déterminés selon la méthode décrite au paragraphe 1.2.b et le tableau 1 les résume. La structure du troupeau a été prise en compte avec l'âge et le stade moyen de lactation lors du contrôle laitier.

Les régimes alimentaires dans le Rayon de Roquefort

Cinq types de régime de période hivernale en bergerie et sans pâturage ont été caractérisés avec (tableau 5) : du foin à dominante légumineuses (régime « FL »), du foin de graminées et de mélange (« FM »), du foin ventilé en grange (« FV »), de l'ensilage d'herbe et de maïs (« EH+EMa ») et de l'ensilage d'herbe (« EH »). Ce dernier régime est fréquent en hiver (43%) et est pris comme référence (Réf.) pour le calcul des écarts ajustés. Deux autres types de régimes avec pâturage ont été ajoutés : avec du pâturage à dominante de graminées (régime « PG ») et du pâturage de mélange à dominante de légumineuses (régime « PM »).

Parmi les régimes hivernaux, c'est le régime « EH+EMa » qui permet la PL la plus élevée (+ 0,3 à 0,4 kg/jour) avec un TB moyen du lait maintenu mais un TP diminué de 1,7 à 3,7 g/kg par rapport aux autres régimes. Le régime « FV » n'est pas plus favorable à la PL que les régimes avec des foins séchés au sol, mais il permet d'obtenir en conduite de bergerie les TB et TP les plus élevés.

Les régimes alimentaires à base d'herbe conservée (« EH », « FL », « FV ») sont peu différenciés par la composition des AG du lait (figure 5). L'introduction d'ensilage de maïs (22% en moyenne) dans le régime « EH+EMa » a augmenté les AGS de 1,9 points par rapport à la référence « EH ». Les régimes avec pâturage (« PG » ou « PM ») conduisent à 1,3 à 1,6 points de moins d'AGS que le régime « EH », le C16:0 expliquant en grande partie cette évolution, mais qui n'est pas toujours vérifiée en brebis (Chilliard *et al* 2007). La compensation est faite par l'augmentation des AGMI, mais aussi par des AGPI (+ 0,7 point). On retrouve donc bien l'effet positif de l'herbe verte au niveau des AGPI par rapport à l'herbe conservée (Nudda *et al* 2003, Chilliard *et al* 2007).

Les régimes alimentaires dans le bassin des Pyrénées-Atlantiques

Quatre types de régimes en période hivernale ont été retenus : deux en bergerie et sans pâturage avec du foin (régime « F ») ou avec de l'ensilage de maïs (« EMa »), deux autres régimes hivernaux comprenant du pâturage hivernal avec du foin (« F+P ») ou avec de l'ensilage de maïs (« F+EMa ») (tableau 1). Le régime « F » (18% des régimes en hiver) est pris comme régime de référence (Réf.).

En période hivernale, l'apport de 15% d'ensilage de maïs dans un régime avec du foin fait augmenter la part des AGS de 1,5 points par rapport au régime « F ». Les AGMI sont paradoxalement peu affectés (+ 0,06) et les AGPI ne le sont pas non plus. L'apport de C18:1c9 de l'ensilage de maïs pourrait en effet augmenter les AGMI (Chilliard *et al* 2007) mais cela n'est pas le cas. L'introduction

de 25% de pâture hivernale en moyenne dans la MS ingérée diminue les AGS (- 1 point) dans le régime avec foin « F+P », mais aussi de 0,5 point lorsqu'il y a introduction de 14% d'ensilage de maïs (« F+EMa »). La compensation par augmentation des AGMI et des AGPI est cohérente avec la diminution des AGS.

c) Effets de la saison de mise bas

Une étude complémentaire de cette base de données *PhénoFinlait* couplée avec un suivi longitudinal de l'alimentation depuis la fin de gestation a montré que les agnelages précoces dans le RR (octobre) conduiraient à des TP supérieurs comparativement aux agnelages plus tardifs qui ont permis une période plus longue de préparation en bergerie, plus distante en temps du pâturage d'automne. Pour ces conduites avec un long délai (> 50 jours) entre la fin du pâturage et le début de la traite par rapport aux conduites avec un délai court (< 30 jours), le TP moyen sur une durée de 160 jours de traite est significativement inférieur de 1,2 g/kg de lait. Cet effet mériterait d'être confirmé sur de plus amples effectifs et sur plusieurs campagnes.

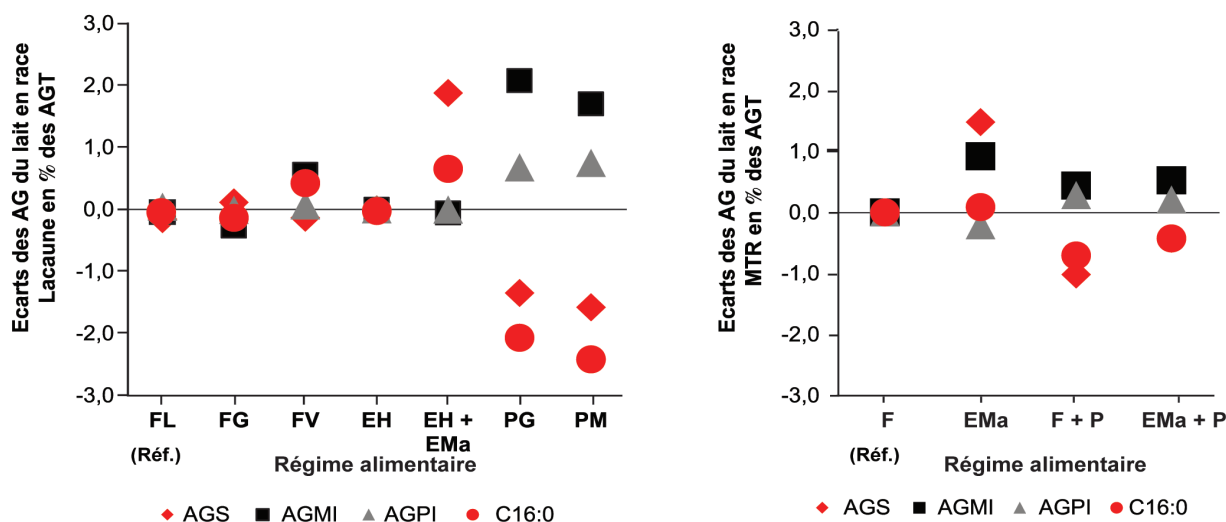
Conclusion

Le programme *PhénoFinlait* a permis de quantifier les effets respectifs de facteurs liés à la conduite de l'alimentation et de la mise à la reproduction, mais aussi de facteurs physiologiques et saisonniers sur la production de lait, ses taux butyreux et protéique et sa composition en AG en situation d'élevages commerciaux pour les trois espèces de ruminants laitiers. Les résultats montrent que l'alimentation est un facteur de

Figure 5. Evolution des principales familles d'acides gras du lait de brebis en fonction du régime alimentaire* pour la race Lacaune et la race MTR.

*Les régimes alimentaires sont décrits dans le tableau 1.

Le régime alimentaire de référence (Réf.) est l'ensilage d'Herbe (EH) pour les troupeaux de brebis Lacaunes et le Foin (F) pour les MTR. Ces références ont une ordonnée égale à zéro.



variation majeur de la composition en AG du lait surtout pour les bovins. Ces résultats confirment en fermes commerciales des conclusions obtenues en fermes expérimentales et permettent de valider l'intérêt de la spectrométrie MIR pour la quantification à haut débit des AG du lait. *PhénoFinlait* offre également des résultats plus originaux sur des facteurs d'influence peu ou pas étudiés jusqu'à présent. Le stade de lactation et la parité sont des facteurs de variation non négligeables de la composition en AG du lait, en particulier pour les bovins. L'impact de l'âge à la 1^{ère} mise bas et de la période de mise bas est significatif, notamment en ovins. Enfin, un effet saisonnier a été observé. Ainsi, si la conduite alimentaire est le principal levier disponible pour moduler la composition fine en AG du lait, la structure du troupeau et les périodes de mesures doivent aussi être prises en considération dans l'évaluation de la conduite alimentaire.

Ces résultats permettent d'envisager de nombreuses applications à différents niveaux (animal, troupeau, bassin de collecte) pour suivre, piloter et optimiser la composition en AG du lait. Un outil pratique, visant à prévoir la composition en AG du lait à l'échelle du troupeau bovin, est notamment en cours d'élaboration à l'Institut de l'Élevage. À terme, le profil en AG du lait pourrait être utilisé comme bio-marqueur de la physiologie ou de maladies métaboliques.

Il reste cependant à préciser l'existence d'éventuelles interactions entre les facteurs d'influence mis en évidence, ainsi que le lien avec les facteurs génétiques, étudiés par ailleurs dans *PhénoFinlait* (Boichard *et al* 2014, ce numéro). De plus, l'interaction avec les autres composants du lait reste à déterminer. Les facteurs d'influence de la composition fine du lait en protéines seront également étudiés grâce au dispositif *PhénoFinlait*. L'intérêt est grand pour les filières fromagères, les

caractéristiques techno-fonctionnelles des laits étant étroitement liées à leur composition en protéines, en particulier en petits ruminants et dans les filières sous appellation d'origine.

Remerciements

Le programme *PhénoFinlait* est co-financé par l'ANR, Apis-gène, FGE, FranceAgriMer, le Ministère en charge de l'Agriculture dont le compte d'affectation spéciale CASDAR et l'Union Européenne. Les auteurs remercient les partenaires du consortium *PhénoFinlait*, les acteurs de terrain et les éleveurs. Les auteurs remercient particulièrement J. Defois, C. Dragan, A. Dubrulle, C. Esmein, S. Esvan, F. Faucon-Lahalle, M. Ferrand, M. Jattiot, A. Moulin et A. Varenne. Ce travail a été conduit dans le cadre des programmes des trois Unités Mixtes Technologiques : GENePR, 3G et RIEL.

Références

- Ataşoğlu C., Uysal-Pala C., Karagül-Yüceer Y., 2009. Changes in milk fatty acid composition of goats during lactation in a semi-intensive production system. *Archives Tierzucht*, 52, 627-626.
- Bitman J., Wood D.L., 1990. Changes in milk fat phospholipids during lactation. *J. Dairy Sci.*, 73, 1208-1216.
- Bocquier F., Caja G., 2001. Production et composition du lait de brebis : effets de l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 14, 129-140.
- Boichard D., Govignon-Gion A., Larroque H., Maroteau C., Palhière I., Tosser-Klopp G., Rupp R., Sanchez M.P., Brochard M., 2014. Déterminisme génétique de la composition en acides gras et protéines du lait des ruminants et potentialités de sélection. In : *PhénoFinlait* : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait. Brochard M., Boichard D., Brunschwig P., Peyraud J.L. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 283-298.
- Boufaïed H., Chouinard P.Y., Tremblay G.F., Petit H. V., Michaud R., Bélanger G., 2003. Fatty acids in forages. II. In vitro ruminal biohydrogenation of linolenic and linoleic acids from timothy. *Can. J. Anim. Sci.*, 83, 513-522, 10.4141/A02-099.
- Chenais F., Richoux R., Houssin B., 2004. Nature des fourrages et qualité nutritionnelle de la matière grasse du lait. *Renc. Rech. Rum.*, 11, 71-74.
- Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M., 2001. Effect of different types of forages, animals fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated acids. *Livest. Prod. Sci.*, 70, 31-48.
- Chilliard Y., Ferlay A., Looor J., Rouel J., Martin B., 2002. Trans and conjugated fatty acids in milk from cows and goats consuming pasture or receiving vegetable oils or seeds. *Ital. J. Anim. Sci.*, 1, 243-254.
- Chilliard Y., Ferlay A., Rouel J., Lambert G., 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysés. *J. Dairy Sci.*, 86, 1751-1770.
- Chilliard Y., Glasser F., Enjalbert F., Ferlay A., Bocquier F., Schmidely P., 2007. Données récentes sur les effets de l'alimentation sur la composition en acides gras du lait de vache, de chèvre et de brebis. *Renc. Rech. Rum.*, 14, 321-328.
- Chilliard Y., Bauchart D., Lessire M., Schmidely P., Mourou J., 2008. Qualité des produits : modulation par l'alimentation des animaux de la composition en acides gras du lait et de la viande. Numéro spécial "20 ans de recherches en productions animales à l'INRA". Charley B., Herpin P., Perez J.M. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 21, 95-105.
- Coulon J.B., Chilliard Y., Rémond B., 1991. Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques (aptitude à la coagulation, lipolyse). *INRA Prod. Anim.*, 4, 219-228.
- Couvreur S., Hurtaud C., Lopez C., Delaby L., Peyraud J. L., 2006. The Linear Relationship between the Proportion of Fresh Grass in the Cow Diet, Milk Fatty Acid Composition and Butter Properties. *J. Dairy Sci.*, 89, 1956-1969.
- Craninx M., Steen A., Van Laar H., Van Nespen T., Martín Tereso J., De Baets B., Fievez V., 2008. Effect of lactation stage on the odd- and branched-chain milk fatty acids of dairy cattle under grazing and indoor conditions. *J. Dairy Sci.*, 91, 2662-2677.
- Delaby L., Hurtaud C., Peyraud J.L., 2001. Effets des quantités d'herbe offertes et de l'apport de concentré sur la composition fine du lait des vaches laitières au pâturage. *Renc. Rech. Rum.*, 8, 96.
- Delaby L., Rulquin H., Peyraud J.L., 2002. Influence de quelques facteurs zootechniques sur la composition en acides gras du lait de vaches au pâturage. *Renc. Rech. Rum.*, 9, 364.
- Ferlay A., Martin B., Pradel P., Coulon J.B., Chilliard Y., 2006. Influence of grass-based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. *J. Dairy Sci.*, 89, 4026-4041.
- Ferrand-Calmels M., Palhière I., Brochard M., Leray O., Astruc J.M., Aurel M.R., Barbey S., Bouvier F., Brunschwig P., Caillat H., Douguet M., Faucon-Lahalle F., Gelé M., Thomas G., Trommschlagher J.M., Larroque H., 2014. Prediction of fatty acid profiles in cow, ewe, and goat milk by mid-infrared spectrometry. *J. Dairy Sci.*, 97, 17-35.
- Fraysse J., Lagriffoul G., Bocquier F., Barillet F., 1996. Brebis laitières : impact de la structure du troupeau et autres facteurs d'élevage sur la composition chimique du lait livré. *INRA Prod. Anim.*, 9, 201-210.
- Gelé M., Minery S., Astruc J.M., Brunschwig P., Ferrand M., Lagriffoul G., Larroque H., Legarto J., Leray O., Martin P., Miranda G., Palhière I., Trossat P., Brochard M., 2014. Phénotypage et génotypage à grande échelle de la composition fine des laits dans les filières bovine, ovine et caprine. In : *PhénoFinlait* : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait. Brochard M., Boichard D., Brunschwig P., Peyraud J.L. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 255-268.
- Houssin B., Chenais F., Foret A., 2003. Influence du régime hivernal des vaches laitières sur la qualité organoleptique des beurres et des camemberts. *Renc. Rech. Rum.*, 10, 219-222.
- Houssin B., Chenais F., Hardy A., 2005. Utilisation du foin par les vaches laitières. Influence sur les performances zootechniques, sur la composition de la matière grasse du lait et sur les qualités organoleptiques des camemberts. *Renc. Rech. Rum.*, 12, 414.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments. Tables INRA 2007. Editions Quae, Paris, France, 307p.

Institut de l'Élevage, FCEL, 2011. Résultats de contrôle laitier - espèce caprine - 2010. Ed. Institut de l'Élevage, Coll. Résultats, 16p.

Institut de l'Élevage, FCEL, 2013. Résultats de contrôle laitier France 2012. Espèces bovine, caprine et ovine. Ed. Institut de l'Élevage, Coll. Résultats 0013 72 011, 23p.

Journet M., Huntington J.L., Peyraud J.L., 1995. Le bilan des produits terminaux de la digestion. In : Nutrition des ruminants domestiques. Jarrige R., Ruckebusch Y., Demarquilly C. (Eds). INRA Editions, Paris, France, 672-720.

Kaufman W., Hagmeister H., Dirksen G., 1980. Adaptation to changes in dietary composition, level and frequency of feeding. In : Ruckebusch Y., Thivend P. (Eds). Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants, MTP Press Ltd, Lancaster, England, 587-602.

Kay J.K., Weber W.J., Moore C.E., Bauman D.E., Hansen L.B., Chester-Jones H., Crooker B.A., Baumgard L.H., 2005. Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 88, 3886-3893.

Leduc A., 1997. Etude du phénomène d'inversion des taux en lait de chèvre par l'analyse des courbes de taux. *Renc. Rech. Rum.*, 3, 363.

Leray O., Ferrand M., Larroque H., Astruc J. M., Douguet M., Brochard M., Duhem K.,

2011. Harmonisation of milk analysers for fatty acid determination by FTIR - An essential step prior to collective data use. Congrès ICAR, Bourg-en-Bresse, France.

Lucas A., Hulin S., Michal V., Agabriel C., Chamba J.F., Rock E., Coulon J.B., 2006. Relations entre les conditions de production du lait et les teneurs en composés d'intérêt nutritionnel dans le fromage : étude en conditions réelles de production. *INRA Prod. Anim.*, 19, 15-28.

Martin B., Ferlay A., Pradel P., Rock E., Grolier P., Dupont D., Gruffat D., Besle J.M., Ballot N., Chilliard Y., Coulon J.B., 2002. Variabilité de la teneur des laits en constituants d'intérêt nutritionnel selon la nature des fourrages consommés par les vaches laitières. *Renc. Rech. Rum.*, 9, 347-350.

Nudda A., Mele M., Battacone G., Usai M.G., Macciotta N.P.P., 2003. Comparison of conjugated linoleic acid (CLA) content in milk of ewes and goats with the same dietary regimen. *Ital. J. Anim. Sci.*, 2, 515-517.

Peyraud J.L., Rouillé B., Hurtaud C., Brunschwig P., 2011. Les acides gras du lait de vache : composition et maîtrise par l'alimentation. Ed. Institut de l'Élevage - UMT Riel - INRA - Cniel, Coll. Synthèse, 36p.

Puillet L., Tichit M., Martin O., Sauvant D., 2012. Apport d'un modèle du fonctionnement du troupeau pour évaluer la production laitière

et l'efficacité alimentaire. In : Elevage caprin. Morand-Fehr P., Sauvant D., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 25, 291-304.

Sauvant D., Bas P., 2001. La digestion des lipides chez le ruminant. In : Numéro spécial, Matières grasses alimentaires et qualité des produits animaux. Sauvant D. (Ed). INRA Prod. Anim., 14, 303-310.

Sauvant D., Giger-Reverdin S., Meschy F., Puillet L., Schmidely P., 2012. Actualisation des recommandations alimentaires pour les chèvres laitières. In : Elevage caprin. Morand-Fehr P., Sauvant D., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 25, 259-276.

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. In : Numéro spécial, Matières grasses alimentaires et qualité des produits animaux. Sauvant D. (Ed). INRA Prod. Anim., 14, 337-354.

Soyeurt H., Dehareng F., Mayeres P., Bertozzi C., Gengler N., 2008. Variation of $\Delta 9$ -desaturase activity in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 91, 3211-3224.

Strzałkowska N., Józwick A., Bagnicka E., Krzyżewski J., Horbańczuk K., Pyzel B., Horbańczuk J.O., 2009. Chemical composition, physical traits and fatty acid profile of goat milk as related to the stage of lactation. *Anim. Sci. Papers Reports*, 27, 311-320.

Résumé

Les facteurs de variation de la composition en Acides Gras (AG) du lait ont été évalués en 2010 dans 1 528 élevages bovins, caprins et ovins laitiers. Le stade de lactation influe sur la proportion d'AG Saturés (AGS) avec une augmentation jusqu'à 4 mois, forte en bovins, plus modérée en caprins et ovins. La part des AG MonoInsaturés (AGMI) évolue inversement, alors que celle des AG PolyInsaturés (AGPI) reste relativement stable tout au long de la lactation. L'âge à la première mise bas affecte peu la composition en AG chez les bovins et les caprins, mais davantage chez les ovins pour lesquels la part des AGS augmente avec l'âge. Chez les bovins, la période de vêlage a peu d'effet sur le profil en AG, mais la saison de production influence notablement le pourcentage des AGS du lait, dans le même sens que le taux butyreux du lait qui est minimal en période de jours longs. Cette saisonnalité est moins importante en caprins, elle est confondue avec la saison de pâturage en ovins. Les régimes alimentaires ont davantage d'influence sur la composition du lait chez les bovins que chez les petits ruminants. Seule la présence du pâturage influence les grandes familles d'AG du lait, dans le même sens pour les 3 espèces, avec une diminution systématique et d'ampleur modérée (petits ruminants) à forte (bovins) de la part des AGS par rapport au régime de référence. En contrepartie, les pourcentages des AGMI et AGPI ont tendance à augmenter avec l'herbe jeune fraîche. L'effet des autres régimes alimentaires, contenant des fourrages conservés, sur les principales familles d'AG du lait est moins net.

Abstract

Effects of farming systems on fatty acid composition of cow, goat and ewe milk evaluated with mid-infrared spectroscopy

Factors affecting milk fatty acid (FA) composition were evaluated in 2010 in 1157 Holstein, Montbeliarde and Normandy cattle farms, 209 Alpine and Saanen goat farms and 162 Lacaune and Manech Red Head sheep farms. The lactation stage strongly increased saturated FA (SFA) in bovine milk until the fourth month. This impact was lower in goat and ewe milk. Monounsaturated FA (MUFA) content varied in the opposite direction, and polyunsaturated FA (PUFA) content was relatively stable over lactation. Saturated FA content increased in ewe milk with age at first lambing. This effect was lower in goats. Seasonal calving period did not influence bovine milk FA profile but production season did: the minimum level of SFA content was reached in long-day periods. This seasonal effect was lower in goats and was confounded by the effect of grazing period in ewes. The feeding system influence was higher in cattle than in sheep and goats. Grazing and green forage feeding systems had the same influence on FA profile in cow, goat and ewe milk: SFA content decreased especially in cattle, whereas MUFA and PUFA contents increased. The effect of feeding systems that contain preserved fodders on milk FA composition was low.

LEGARTO J., GELÉ M., FERLAY A., HURTAUD C., LAGRIFFOUL G., PALHIÈRE I., PEYRAUD J.-L., ROUILLE B., BRUNSCHWIG P., 2014. Effets des conduites d'élevage sur la production de lait, les taux butyreux et protéiques et la composition en acides gras du lait de vache, chèvre et brebis évaluée par spectrométrie dans le moyen infrarouge. In : *PhénoFinlait* : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait. Brochard M., Boichard D., Brunschwig P., Peyraud J.L. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 27, 269-282.