

# Variabilité de la taille et de la composition en acides gras des globules gras du lait chez la vache laitière

S. COUVREUR (1,2), C. HURTAUD (2), J.L. PEYRAUD (2)

(1) Unité Mixte de Recherches INRA-Agrocampus Rennes Production du Lait, Domaine de la Prise - 35590 Saint-Gilles

(2) Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers, 55 rue Rabelais, BP 30748 - 49007 Angers Cedex 01

**RESUME** - Les mécanismes de synthèse des acides gras (AG), les facteurs d'élevage qui permettent de les moduler et les relations entre la composition en AG et les principales composantes du lait commencent à être bien connus. Ce n'est pas encore le cas pour la taille des globules gras (GG) du lait. L'objectif de ce travail est de préciser les relations entre la taille des GG, la production laitière (PL) et la composition fine du lait (AG et matières protéiques). Une analyse multivariable, combinant une analyse en composantes principales et une analyse discriminante, a été menée sur 2 jeux de données composés de 206 et 109 vaches laitières (VL) caractérisées par des variables de PL, de composition du lait, de profil en AG et de taille de GG. Cette analyse a été complétée par un essai étudiant la PL et la composition fine du lait de VL sécrétant leur MG sous forme de petits GG ou de gros GG. Ces 2 approches ont permis de montrer que la taille des GG est corrélée négativement avec la PL, la matière protéique (MP) et le calcium produit et positivement avec les TB et TP. Ceci laisse penser que les VL produisant de petits GG ont une activité de synthèse de lait et de protéines plus intense. La taille des GG n'est pas liée à la quantité de MG produite. La teneur en membrane dans la MG est plus élevée chez les VL sécrétant des petits GG. La taille des GG est liée négativement à la teneur et à la quantité sécrétée quotidiennement d'AG mono-insaturés et au rapport C18:1/C18:0 et positivement à la teneur et à la quantité sécrétée quotidiennement d'AG courts. Ces résultats laissent donc envisager de nouvelles perspectives d'amélioration de la qualité de la MG couplant taille et composition des GG. Les mécanismes impliqués dans la sécrétion des GG restent encore à déterminer.

## Milk fat globule size and fatty acid composition variability in dairy cows

S. COUVREUR (1,2), C. HURTAUD (2), J.L. PEYRAUD (2)

(1) Unité Mixte de Recherches INRA-Agrocampus Rennes Production du Lait, Domaine de la Prise - 35590 Saint-Gilles

**SUMMARY** - The mechanisms of milk fatty acid (FA) synthesis are beginning to be well-known, along with the breeding factors which modulate them and the relationships between the FA composition and the principal components of milk. This is not yet the case for the milk fat globule (MFG) size in milk. The objective of this work was to specify the relationships between MFG size, milk production and milk composition. A multivariable analysis, combining a principal component analysis and a discriminating analysis, has been carried out on two data files made up of 206 and 109 dairy cows characterised by variables of milk production, milk composition, FA profile and MFG size. This analysis has been completed by a trial studying the milk production and composition of dairy cows secreting their fat in the form of small or large MFG. These two approaches have shown that the MFG size is negatively correlated with dairy production, protein and calcium productions and positively correlated with fat and protein contents. Dairy cows with small MFG may have a more intense activity of milk and protein synthesis. The MFG size is not related to fat yield. The content of the membrane in MFG is higher in dairy cows producing small MFG. The MFG size is negatively correlated with the mono-unsaturated FA content and yield and with the C18:1/C18:0 ratio and positively correlated with the short-chain FA content and yield. These results suggest new opportunities for improving milk fat quality by coupling MFG size and MFG composition. The mechanisms implied in MFG secretion still remain to be determined.

## INTRODUCTION

La matière grasse laitière (MG) se présente sous forme de globules gras (GG) qui correspondent à des gouttelettes de triglycérides entourées et stabilisées dans la phase aqueuse du lait par une membrane (MGG) dérivant de la membrane plasmique et d'une partie du contenu de la cellule épithéliale mammaire (Mulder et Walstra, 1974). La composition en acide gras (AG) des triglycérides, en modifiant les points de fusion de la MG, joue un rôle déterminant sur l'aptitude à la transformation du lait. Le rôle des AG sur la qualité nutritionnelle des produits laitiers est maintenant reconnu (Legrand, 2005). Les effets de l'alimentation des vaches laitières sur ce profil en AG sont de mieux en mieux connus (Chilliard *et al.*, 2001, Couvreur *et al.*, 2006a). La taille des GG agit sur l'aptitude des crèmes au barattage (Pointurier et Adda, 1969). Elle est également susceptible de modifier la texture des matrices fromagères en modifiant la structure du réseau protéines-matières grasses (Michalski *et al.*, 2003 et 2004). Elle peut également agir sur la valeur nutritionnelle des produits du fait de la forte teneur de la membrane des GG en agents nutraceutiques (Spitsberg, 2005). Nos premiers résultats montrent que ce critère n'est que modérément affecté par l'alimentation des vaches laitières, en particulier

par la nature du fourrage (au maximum 0,3  $\mu\text{m}$ , Couvreur *et al.*, 2003, 2004 et 2006a).

Les effets des animaux sur ces critères sont peu renseignés. Quelques résultats montrent toutefois que la race n'influe que modérément le profil en AG et la taille des GG (Dillon *et al.*, 2003, Martini *et al.*, 2004). Les objectifs de cette étude ont donc été de caractériser les variations de taille et de composition en AG des GG en fonction de la race, du rang et du stade de lactation, de caractériser les variabilités inter individuelles sur ces mêmes critères ainsi que de déterminer les relations éventuelles entre la taille des GG et la production de lait, d'AG et de protéines.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. APPROCHE MULTIVARIABLE

Deux bases de données ont été constituées à partir d'essais menés durant 3 années consécutives dans les élevages expérimentaux de Méjussauve (35) et du Pin au Haras (61). La première rassemble 206 VL (171 Prim'Holstein, 35 Normande) suivies à différents stades de lactation (844 individus statistiques). Quatre groupes de variables ont été constitués : identification des individus (vache, essai, régime, période), description des individus (race, parité, stade

stade de lactation), description de la production (PL, TB, TP, MP et MG) et description des GG (diamètre moyen, surface spécifique, teneur en MGG). Le diamètre moyen des GG a été calculé par le  $d_{3,2}$  (ou *Sauter diameter*) qui est le diamètre pondéré en surface et qui est donc plus sensible aux variations de population de petits GG et le  $d_{4,3}$  (ou diamètre de De Broucker) qui est le diamètre pondéré en volume et qui est donc plus sensible aux variations de population de gros GG (Mulder et Walstra, 1974). La surface spécifique a été calculée par  $s = 6/(0,92 \times d_{3,2})$  (Mulder et Walstra, 1974). La teneur en MGG a été calculée à partir de  $s$ , en admettant une épaisseur de membrane de 10 nm. Elle a été rapportée à la production de lait et de MG. La deuxième base, extraite de la première, est composée de 109 VL (74 Prim'Holstein et 35 Normande, 432 individus statistiques) et comporte en plus un groupe de variables caractérisant le profil en AG des GG. Les données des 2 bases ont été corrigées, par analyse de variance, des effets liés aux essais ( $n = 13$ ) et aux régimes appliqués intra-essais ( $n = 12$ ) afin d'isoler le facteur animal. Une fois la correction effectuée, des analyses descriptives (calcul de moyennes, d'écart-types, histogrammes) et une analyse de variance à l'aide de la procédure proc MIXED de SAS (SAS Institute, 1990) ont été réalisées pour décrire la variabilité de composition en AG et en taille de GG en fonction de la race (Prim'Holstein ou Normande), du rang (primipare ou multipare), du stade de lactation et de la variabilité inter-VL.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour déterminer les relations entre les variables de taille des GG et les variables de production de lait et d'AG. Une analyse discriminante (AD) a ensuite été effectuée pour

déterminer, parmi les relations mises en évidence avec l'ACP, celles qui permettent de discriminer au mieux les individus selon la taille des GG. Pour l'ACP, les AG minoritaires d'un point de vue quantitatif ( $< 10$  g/j) ont été retirés des analyses, ainsi que la MG car elle est très corrélée à la quantité d'AG sécrétés. Les analyses ont donc porté sur 4 variables de production de lait, 5 variables de taille de GG et 28 variables de quantités d'AG. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel SPAD 4.6 (Decisia, France) avec les variables de production du lait et d'AG actives et les variables de GG passives dans le modèle. L'AD a été réalisée à l'aide des procédures proc STEPDISC et DISCRIM de SAS (SAS Institute, 1990). Pour cette analyse, les 432 individus statistiques ont été au préalable classés selon la taille de leurs GG en 3 groupes de respectivement 100 (en moyenne  $3,53 \mu\text{m}$ ), 232 (en moyenne  $4,00 \mu\text{m}$ ) et 100 (en moyenne  $4,60 \mu\text{m}$ ) individus. L'analyse a consisté à définir un modèle de discrimination composé de variables sélectionnées parmi les 4 variables de production et les 28 variables de quantités d'AG permettant d'obtenir le même classement en 3 groupes. La pertinence du modèle de discrimination est donnée par la comparaison entre les groupes établis *a priori* et les groupes réalisés par le modèle de discrimination.

## 1.2. APPROCHE EXPERIMENTALE

Pour préciser les relations entre la taille des GG et les autres caractéristiques du lait, un essai a été réalisé sur 2 groupes de 6 VL choisies sur la taille ( $d_{4,3}$ ) des GG (respectivement  $3,44 \pm 0,17 \mu\text{m}$  et  $4,53 \pm 0,13 \mu\text{m}$ ) à partir des 108 VL de l'élevage de Méjussaume qui ont été typées à 8 semaines de lactation.

**Tableau 1** : effets de la race (Prim'Holstein vs. Normande), du rang de lactation (primipare vs. Multipare) et du stade de lactation sur la production, la composition du lait, la taille des GG et le profil en AG.

	Intervalle <sup>1</sup>	Vache laitière				ETR <sup>2</sup>	ETR <sup>3</sup>	Effets		
		Prim'Holstein		Normande				Race	Rang	Stade
		Primi.	Multi.	Primi.	Multi.					
PL, kg/j	[13,1 ; 43,0]	22,7	28,2	19,6	23,2	3,20	3,51	***	***	***
TB, g/kg	[25,9 ; 50,3]	38,9	39,3	43,2	42,8	3,69	3,92	***	NS	***
TP, g/kg	[25,1 ; 38,6]	32,1	32,3	35,5	35,1	2,46	2,09	***	NS	***
MG, g/j	[600 ; 1525]	868	1092	839	973	144,4	133,8	**	***	***
MP, g/j	[486 ; 1287]	718	894	677	784	115,7	95,0	***	***	***
$d_{4,3}$ , $\mu\text{m}$	[3,41 ; 4,67]	3,96	3,93	4,19	4,32	0,246	0,294	***	NS	***
MGG, g kg <sup>-1</sup> MG	[18,3 ; 24,2]	21,7	21,7	20,4	20,0	1,14	1,38	***	NS	***
MGG, g kg <sup>-1</sup> lait	[0,57 ; 1,04]	0,83	0,85	0,89	0,85	0,068	0,073	†	NS	***
AGS <sup>4</sup> , %	[65,1 ; 76,1]	69,2	71,6	70,3	71,6	2,77	2,121	NS	**	***
AGMF <sup>5</sup> , %	[20,9 ; 31,2]	27,4	25,1	26,4	25,2	2,64	1,955	NS	**	***
AGPI <sup>6</sup> , %	[2,59 ; 4,04]	3,41	3,30	3,34	3,19	0,431	0,320	NS	NS	***
C18:3, %	[0,38 ; 0,63]	0,51	0,51	0,54	0,47	0,119	0,053	NS	**	***
CLA <i>cis9trans11</i> , %	[0,31 ; 1,43]	0,93	0,89	0,81	0,84	0,337	0,237	NS	NS	***
C14:1/C14:0	[0,052 ; 0,129]	0,087	0,099	0,081	0,088	0,0131	0,0169	†	†	***
C16:1/C16:0	[0,034 ; 0,078]	0,059	0,059	0,051	0,049	0,0088	0,0097	**	NS	**
C18:1/C18:0	[1,53 ; 2,85]	2,30	2,22	2,04	2,04	0,274	0,257	**	NS	***
IA <sup>7</sup>	[2,22 ; 3,71]	2,80	3,11	2,86	3,11	0,382	0,310	NS	**	***
C16:0/C18:1	[1,06 ; 2,00]	1,44	1,65	1,41	1,57	0,241	0,194	NS	**	***

<sup>1</sup>Intervalle de répartition à  $\pm 2$  écart type de 95 % des individus (un individu = valeur moyenne pour une VL sur toutes ses lactations) ; <sup>2</sup>ETR = Ecart type résiduel du modèle statistique ; <sup>3</sup>ETR<sub>r</sub> = Ecart type résiduel pour tester l'effet de la race et du rang de lactation ; <sup>4</sup>AGS = Acides gras saturés ; <sup>5</sup>AGMI = Acides gras monoinsaturés ; <sup>6</sup>AGPI = Acides gras polyinsaturés ; <sup>7</sup>Index d'athérogénicité = somme des teneurs en acide laurique (C12:0), acide palmitique (C16:0), et 4 fois l'acide myristique (C14:0) divisée par la teneur en AGP ; †  $P \leq 0,1$  - \*  $P \leq 0,05$  - \*\*  $P \leq 0,01$  - \*\*\*  $P \leq 0,001$ .

Les lots de VL ont été séparés en 2 sous-groupes de 3 VL alimentées selon un schéma en inversion avec un régime à base d'ensilage de maïs complétement avec du tourteau de soja ou un régime isoénergétique et isoazoté à base d'herbe verte complétement avec des céréales pendant 2 périodes de 4 semaines (voir Couvreur *et al.*, 2006b). Les paramètres

mesurés ont été la production laitière, les teneurs en caséines et protéines solubles, le Ca soluble et colloïdal et le profil en AG. Les données ont été analysées par une analyse de variance à l'aide de la procédure proc MIXED de SAS (SAS Institute, 1990). Seuls les résultats moyens des 2 groupes de VL sont présentés ici.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. LES CARACTERISTIQUES DES GG VARIENT MODEREMENT AVEC LA RACE, LA PARITE ET LE STADE DE LACTATION

Dans nos bases de données,  $d_{3,2}$  et  $d_{4,3}$  ont été très étroitement corrélés ( $R=0,99$ ) et dans la suite du texte le diamètre des GG correspondra à  $d_{4,3}$ . Aucune interaction n'a été observée entre la race, le rang et le stade de lactation.

Au delà des effets "race" bien connus sur la production, les VL Normandes ont sécrété la MG sous forme de GG plus gros (tableau 1). Ceci s'est traduit par une légère diminution de la teneur en MGG dans la MG totale et une plus forte teneur en MGG dans le lait. Ces résultats concordent avec ceux obtenus avec la race Jersiaise qui est une autre race à faible PL et forts taux pour lesquels la taille des GG est aussi plus faible d'environ  $0,3 \mu\text{m}$  que chez la Prim'Holstein (Martini *et al.*, 2004). Ce résultat pourrait expliquer en partie le caractère beurrier de ces races, le barattage étant plus rapide et plus efficace lorsque les GG sont gros (Pointurier et Adda, 1969). Les écarts de profil en AG ont été très modérés entre races ce qui confirme les résultats de Delaby *et al.* (2002).

En particulier, les teneurs en AG d'intérêt nutritionnel (C18:3, CLA *cis9 trans11*) n'ont pas varié. L'indice de tartinabilité n'a pas non plus été affecté. Les VL de race Normande se caractérisent par de plus faibles rapports C18:1/C18:0, C16:1/C16:0 et C14:1/C14:0, de plus faibles teneurs en C14:1 *cis9*, C16:1 *cis9* et une plus forte teneur en C18:0 ce qui semble indiquer que ces animaux ont une plus faible activité de désaturation mammaire que les Prim'Holstein.

La taille des GG et la quantité de MGG (dans la MG totale et dans le lait) ne varient pas significativement entre lactations. Comme les multipares sécrètent plus de MG que les primipares, cela implique qu'elles possèdent une activité de synthèse de membrane apicale plus intense permettant peut être aussi d'expliquer en partie la sécrétion accrue de protéines. Les teneurs de tous les AG saturés (C6:0 à C16:0) sont plus élevées et les teneurs en AG monoinsaturés (C18:1 *cis9* principalement) sont plus faibles chez les multipares que chez les primipares. Finalement, les indices de tartinabilité (C16:0/C18:1) et d'athérogénicité sont plus élevés chez les multipares. Ces résultats peuvent être liés à la meilleure couverture des besoins énergétiques chez ces animaux. L'activité de désaturation ne semble pas avoir été sensiblement affectée par le rang de lactation, seul le rapport C14:1/C14:0 ayant eu tendance à être légèrement plus élevé chez les vaches multipares.

La taille des GG diminue linéairement mais modérément (environ  $0,3 \mu\text{m}$ ) avec le stade de lactation, après le pic, indépendamment de la race ou du rang de lactation ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en MGG dans la MG et dans le lait. La teneur en AGS augmente (0,17 point par semaine de lactation) alors que celles en AGMI et AGPI diminuent avec le stade de lactation sans doute en fonction de l'évolution du bilan énergétique des animaux. Les teneurs en C18:3 et en CLA *cis9trans11* diminuent modérément avec le stade. Finalement, l'indice de tartinabilité s'accroît à partir de la 30<sup>ème</sup> semaine de lactation (de 1,2 à plus de 2 en fin de lactation).

### 2.2. LES CARACTERISTIQUES DES GG VARIENT FORTEMENT ENTRE INDIVIDUS.

Les variations interindividuelles ont été très élevées pour tous les paramètres. Ces effets, connus en terme de volume de lait et de taux, s'observent aussi sur la taille des GG qui a varié de  $1,26 \mu\text{m}$  et sur la teneur en MGG du lait qui a finalement varié pratiquement du simple au double, (tableau 1). Les écarts se sont maintenus tout au long de la lactation. La variabilité en terme de taille de GG avait déjà été évoquée par Mulder et Walstra (1974) mais depuis aucune étude n'avait complété les connaissances sur ce sujet. Ces forts écarts laissent supposer des répercussions sensibles sur les rendements et la texture des produits laitiers (Michalski *et al.*, 2003 et 2004) et peut être aussi sur la valeur nutritionnelle des laits (Spitsberg, 2005). Des différences très importantes ont aussi été observées sur le profil en AG des GG. Les écarts entre VL extrêmes sont d'environ 10 points pour les teneurs en AGS et AGMI et d'environ 1,5 point pour la teneur en AGPI. Ceci se traduit par des écarts importants sur les indices d'athérogénicité et de tartinabilité dont les valeurs vont du simple au double. Karijord *et al.* (1982) ont de plus montré que l'héritabilité des critères de profil en AG est assez bonne. L'héritabilité n'est pas connue pour la taille des GG mais le fait que les variations inter-individuelles se maintiennent au cours de la lactation et entre lactations laisse penser qu'il s'agit d'un caractère sous forte dépendance génétique.

### 2.3. RELATIONS ENTRE LA TAILLE DES GLOBULES GRAS ET LA PRODUCTION DE LAIT

L'ACP a montré que la taille des GG est globalement liée positivement au TB, au TP et à l'activité de synthèse *de novo* des AG et négativement à la PL, à la MP et à l'activité de désaturation de la mamelle. En effet, après le 1<sup>er</sup> axe (51 % de la variance) qui est porté par les variables de production et le 2<sup>ème</sup> (12 % de la variance) qui est porté les profils en AG, le 3<sup>ème</sup> axe (9,5 % de la variance) met en évidence des corrélations positives entre le diamètre moyen du GG et le TB, le TP et les AG courts, le 4<sup>ème</sup> axe (5,6 % de la variance) a mis en évidence une corrélation positive nette entre le diamètre des GG et le C18:1 *cis9*. Ces résultats sont confirmés par l'analyse discriminante. Celle-ci a en effet permis de discriminer les VL sur le critère taille des GG avec un taux de bon classement relativement élevé (tableau 2) à partir des 3 groupes de variables qui par ordre décroissant d'importance sont : 1/ des variables de production (TB, TP, et MP), 2/ celles traduisant l'activité de désaturation de la mamelle (C14:1/C14:0, C16:1/C16:0, C18:1/C18:0, C14:1, C16:1, C18:0), 3/ et celles traduisant l'activité de synthèse *de novo* (production de C6:0, C10:0, C12:0, C14:0, C16:0). Au final, les vaches à petits GG tendent à produire plus de lait et de matières protéiques, un lait avec des taux plus faibles, elles semblent avoir une activité de désaturation dans la mamelle plus faible et une activité de synthèse *de novo* d'AG plus faible. Toutefois les relations sont généralement plus étroites dans la population de vaches de race Prim'Holstein que chez les normandes. A titre d'exemple la corrélation entre la taille des GG et la production de lait est de -0,26 chez les Prim'Holstein mais non significative chez les normandes. Les corrélations avec le TB sont de 0,59 vs. 0,29, celle avec le TP sont de 0,23 vs. 0,17 et celle avec le rapport C18:1/C18:0 sont de -0,31 vs. -0,21 respectivement chez les Prim'Holstein et chez les Normandes.

**Tableau 2** : modèle de discrimination de la taille des GG : cas d'une classification en 3 groupes distincts.

Modèle	TB, C14:1/C14:0, C16:1/C16:0, C18:1/C18:0, C12:0, C6:0, AG courts, C10:0, C18:0, C14:0, C14:1, MP, AGMI, AG longs, TP, C16:0, AGPI, C16:1				
	Prédit	Gpe 1	Gpe 2	Gpe 3	Bonne classification
Réel					
Gpe 1 (n=100)	83	17	0	83,0 %	
Gpe 2 (n=232)	31	150	51	64,7 %	
Gpe 3 (n=100)	0	27	73	73,0 %	

Ces corrélations sont confirmées et précisées par l'approche expérimentale chez les vaches Prim'Holstein, où les individus à petit GG se sont caractérisés par des TB et TP beaucoup plus faibles, un volume de lait beaucoup plus élevé et une production de MG quasi identique à celle des individus à gros GG (tableau 3). Ces animaux ont également synthétisé moins d'AG à chaîne courte et ont eu un rapport C18:1/C18:0 plus faible que les vaches à gros GG. Les animaux à petits GG ont aussi synthétisé plus de matériel membranaire (+ 3,3 g/j, soit 16%).

Si la relation entre la taille des GG et le TB avait déjà été rapportée (Wiking *et al.*, 2004), aucune étude n'avait encore mis en évidence de relation positive avec le TP. Cette relation pourrait résulter de la forte corrélation génétique entre TB et TP.

**Tableau 3** : relation entre la taille des GG et les paramètres de production et de composition du lait.

Taille des GG à la mise en lot, $\mu\text{m}$	3,44	4,53	ETR <sup>1</sup>	Effet GG
Taille des GG $\mu\text{m}$	3,49	4,11	0,247	**
MGG (g/j)	23,4	20,1	1,62	*
PL, kg/j	27,0	21,3	1,58	***
TP, g/kg	30,8	34,6	1,18	**
TB, g/kg	35,8	47,0	2,54	***
Matières grasses (g/j)	960	1000	109,0	NS
Matières protéiques (g/j)	830	740	60,0	*
Caséines (g/j)	666	600	83,8	NS
Protéines solubles (g/j)	169	145	33,0	NS
NPN (g/j)	40,3	30,3	4,05	**
AG courts (g/j) <sup>2</sup>	106	126	18,3	†
C18:1/C18:0	2,46	1,97	0,276	**
Ca soluble, mg/kg	302	259	20,1	**
Ca colloïdal, mg/kg	897	969	59,3	†
Ca colloïdal/caséine, %	36,8	34,2	1,63	*

<sup>1</sup>ETR = Ecart-type résiduel, <sup>2</sup>AG courts = Somme C4 à C10

L'essai a permis de préciser que la diminution du TP et du TB chez les vaches à petit GG est liée avant tout à une dilution d'une quantité relativement peu différente de caséines sécrétées et d'une même quantité de MG diluées dans un volume de lait beaucoup plus élevé. Ces données illustrent la complexité des régulations des synthèses des constituants du lait et du rôle important que semble y jouer la synthèse du matériel apical.

En outre, l'essai a montré que les VL à petits GG se caractérisent par une sécrétion de Ca colloïdal et de Ca soluble dans le lait sensiblement plus élevée que les vaches à gros GG. Elles ont aussi produit un lait dont la minéralisation calcique des micelles de caséine était plus importante ce qui laisse supposer une aptitude fromagère du lait moins dégradée que ne le laisserait présager la chute du TP (Remeuf *et al.*, 1991).

## CONCLUSION

Ce travail a mis en évidence les effets animaux sur les caractéristiques de la MG globulaire du lait. Il a montré la très forte variabilité individuelle de la taille et de la composition en AG des GG. Il a aussi mis en évidence les relations existant entre la taille des GG, le volume de lait, les taux, la synthèse des AG à chaîne courte et probablement l'activité de désaturation de la mamelle et son aptitude à minéraliser les micelles de caséines. Ces résultats soulèvent de nombreuses questions sur les régulations des synthèses au niveau de la cellule épithéliale mammaire et du rôle régulateur de la synthèse du matériel apical. Une approche plus mécaniste des fonctions cellulaires permettrait peut-être d'apporter des réponses.

*Ce travail a reçu le soutien financier de la Région Bretagne, d'ARILAIT recherches et de l'association GALA*

- Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M., 2001. *Livest. Prod. Sci.*, 70, 31-48
- Couvreur S., Hurtaud C., Delaby L., Michel F., Peyraud J. L., 2003. *Renc. Rech. Ruminants*, 10, 235
- Couvreur S., Hurtaud C., Delaby L., Peyraud J. L., 2004. *Renc. Rech. Ruminants*, 11, 107
- Couvreur S., Hurtaud C., Lopez C., Delaby L., Peyraud J. L., 2006a. *J. Dairy Sci.*, 89, 1956-1969
- Couvreur S., Hurtaud C., Marnet P. G., Faverdin P., Peyraud J. L., 2006b. *J. Dairy Sci.*, sous presse
- Delaby L., Rulquin H., Peyraud J. L., 2002. *Renc. Rech. Ruminants*, 9, 364
- Dillon P., Buckley F., O'Connor P., Hegarty D., Rath M., 2003. *Livest. Prod. Sci.*, 83, 21-33
- Karijord O., Standal N., Syrstad O., 1982. *Z. Tierz. Zuchtungsbiol.*, 99, 81-93
- Legrand P., 2005. *Cahiers Nutr. Diet.*, 40 : 29-34
- Martini M., Cecchi F., Summer A., Scolozzi C., 2004. *Ragusa, Italie. 6<sup>th</sup> International Meeting on Mountain Cheese*
- Michalski M. C., Gassi J. Y., Famelart M. H., Leconte N., Camier B., Michel F., Briard V., 2003. *Lait*, 83, 131-143
- Michalski M. C., Camier B., Briard V., Leconte N., Gassi J. Y., Goudedranche H., Michel F., Fauquant J., 2004. *Lait*, 84, 343-358
- Mulder H., Walstra P., 1974. *Technical Communication, Commonwealth Bureau of Dairy Science and Technology (N°4)*, 296 pp.
- Pointurier H., Adda J., 1969. *Beurrerie Industrielle : science et technique de la fabrication du beurre*. Paris : La Maison Rustique - Paris edn, 288-330
- Remeuf F., Cossin V., Dervin C., Lenoir J., Tomassone R., 1991. *Lait*, 71, 397-421
- SAS Institute, 1990. *SAS User's guide: Statistics. Version 6 ed. 4*. SAS Inst., Inc., Cary, NC
- Spitsberg V. L., 2005. *J. Dairy Sci.*, 88, 2289-2294
- Wiking, L., Stagsted J., Björck L., Nielsen J. H., 2004. *Int. Dairy J.*, 14, 909-913