

Régimes alimentaires et taille des globules gras des vaches laitières : effet sur la production laitière, l'aptitude fromagère et les propriétés thermofonctionnelles des emmentals.

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

(1) UMR INRA-Agrocampus Production du Lait, 35590 Saint-Gilles

(2) ITFF Ouest, 73 rue de Saint-Brieuc, BP 50915, 35009 Rennes

RESUME - Le globule gras du lait est susceptible par sa taille et ses propriétés physico chimiques de modifier l'aptitude fromagère du lait et les qualités technologiques des fromages. Ces propriétés peuvent être modifiées par la génétique et par l'alimentation. Notre étude se proposait de quantifier, chez deux groupes de vaches laitières de race Holstein sélectionnées sur la taille des globules gras (un groupe à 3,44 μm et un groupe à 4,53 μm), les effets d'une alimentation à base d'herbe pâturée comparée à de l'ensilage de maïs sur l'aptitude fromagère des laits et sur les propriétés culinaires de l'emmental. Les animaux à petits globules ont été caractérisés par une production laitière plus élevée (+5,6 kg/j), un TP plus faible (-3,8 g/kg) et un TB très fortement réduit (-11,2 g/kg). Ils ont produit un lait légèrement plus riche en acides gras insaturés. Comparé à l'ensilage de maïs, le pâturage a accru la production de lait (2,9 kg/j) et a fait chuter le TP (-0,9 g/kg) et le TB (-6,6 g/kg). Il a très fortement réduit la teneur en acides gras saturés (-12,6 %). Les rendements fromagers ont été plus faibles avec le pâturage et les petits globules. L'alimentation n'a eu que peu d'effets sur les caractéristiques des emmentals. L'humidité des fromages est restée plus élevée avec le lait à petits globules malgré des aménagements technologiques importants destinés limiter les différences d'égouttage. Ceci s'est traduit par la production d'emmentals moins durs et ayant des propriétés thermofonctionnelles différentes : aptitude à l'étalement et exsudation plus importantes. La couleur des gratins réalisés à partir des fromages a été peu affectée. En conclusion, ces résultats montrent que la taille des globules gras a des effets importants, directs et/ou indirects, sur les propriétés des emmentals utilisés en tant qu'ingrédients culinaires.

Dairy cow feeding and milk fat globule size: effect on milk yield, fresh cheese yield and thermofunctional characteristics of melted French Emmental-cheese

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

(1) UMR INRA-Agrocampus Production du Lait, 35590 Saint-Gilles

SUMMARY - The milk fat globule can modify by its size and its phyco-chemical properties the cheese-making capacity of milk and technological properties of cheeses. These properties can be modified by genetic and feeding. Our study proposed to quantify on two groups of dairy Holstein cows selected on the size of the milk fat globules (a group with 3.44 μm and a group with 4.53 μm) the effects of feeding based on pasture compared to corn silage on the cheese-making properties of milk and the culinary properties of the emmental cheese. The animals with small fat globules were characterised by a higher milk production (+5.6 kg/d), a low protein content (-3.8 g/kg) and a very strongly reduced fat content (-11.2 g/kg). They produced a milk slightly richer in unsaturated fatty acids. Compared with corn silage, pasture increased milk yield (2.9 kg/d) and decreased protein (-0.9 g/kg) and fat contents (-6.6 g/kg). It very strongly reduced milk saturated fatty acids (-12.6 %). The cheese yields were lower with pasture and small fat globules. Feeding had only few effects on the characteristics of the emmental. The moisture of cheeses remained higher with milk with small fat globules in spite of important technological modifications intended to limit the differences in draining, which induced less hard emmental having different thermofunctional properties: more important flowability and, oiling-off. The colour of the gratins from cheeses was little affected. In conclusion, these results show that the size of the milk fat globules has important, direct and/or indirect, effects on the properties of the emmentals used as culinary ingredients.

INTRODUCTION

Le globule gras, forme native majoritaire de la matière grasse laitière, se décrit comme une gouttelette de triglycérides recouverte par une membrane de structure complexe au diamètre moyen d'environ 4 μm . De par sa taille et sa composition (acides gras, triglycérides, phospholipides et pigments essentiellement), il est susceptible de modifier l'aptitude fromagère du lait et les qualités organoleptiques des fromages. La taille des globules et la composition de la matière grasse peuvent être modifiés par des facteurs d'élevage tels que l'alimentation ou la génétique (Chilliard *et al.*, 2001 ; Couvreur *et al.*, 2004). Pour l'instant, il est difficile de dire si les modifications de la matière grasse laitière globulaire sont suffisantes pour engendrer des différences significatives sur les propriétés thermofonctionnelles de l'emmental, en tant qu'ingrédient culinaire. Cette étude se propose de quantifier les effets sur la production, la composition du lait, l'aptitude à la transformation fromagère et les qualités thermofonctionnelles des micro-emmentals

issus de ce lait, d'une alimentation à base d'herbe pâturée comparativement à un régime à base d'ensilage de maïs sur deux groupes de vaches laitières de race Holstein sélectionnées sur la taille des globules gras.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. ANIMAUX ET SCHEMA EXPERIMENTAL

A partir du troupeau de la ferme expérimentale de Méjussauve, 4 groupes de 3 vaches laitières à 165 \pm 28 jours de lactation ont été sélectionnés de manière à obtenir 2 tailles de globule gras différentes et pour chacune des tailles, 2 lots équilibrés sur le rang et le stade de lactation, la production laitière, les taux butyreux et protéique et le poids vif. Les lots à petits globules gras (pGG) sont caractérisés par des globules de diamètre moyen de 3,44 \pm 0,17 μm , une production laitière de 32,1 \pm 4,6 kg/j, un TB de 27,3 \pm 7,6 g/kg et un TP de 30,3 \pm 1,6 g/kg. Les lots à gros globules gras (gGG) sont caractérisés par des globules de diamètre moyen de 4,53 \pm 0,13 μm , une production

production laitière de $24,3 \pm 5,0$ kg/j, un TB de $44,4 \pm 4,7$ g/kg et un TP de $35,9 \pm 1,0$ g/kg. Dans chaque groupe, les vaches ont été alimentées soit avec un régime à base d'ensilage de maïs, soit avec du pâturage selon un schéma expérimental en inversion sur des périodes de 4 semaines (3 semaines d'adaptation au régime, 1 semaine de prélèvement).

1.2. ALIMENTATION

L'objectif était que les vaches aient des apports UFL et PDI les plus proches possible entre les 2 régimes. Pour cela, les quantités d'ensilage de maïs distribuées ont été limitées à 15 kg/j de MS, les quantités d'herbe offerte ont été fixées à 22 kg/j de MS ce qui devait correspondre à des quantités ingérées (QI) de 15 kg/j de MS. Les vaches alimentées à l'ensilage de maïs ont reçu 3 kg/j de tourteau de soja. Au pâturage, les vaches ont reçu 3,3 kg/j de concentré à base de céréales (29 % de maïs, 29 % d'orge, 15,5 % de son fin de blé, 11 % de tourteau de colza, 4 % de mélasse, 2,5 % d'huile végétale et 3,8 % de minéraux). En pratique, les animaux à l'auge recevaient leur ration en 2 distributions par jour. Les animaux au pâturage étaient conduits en pâturage rationné (au fil) et les hauteurs d'herbe étaient mesurées tous les jours en entrée et en sortie de parcelle afin de calculer les QI selon le modèle développé par Delagarde *et al.* (2004).

1.3. MESURES SUR LES LAITS INDIVIDUELS

Les vaches ont été traitées à 7h et à 18h tous les jours. La quantité de lait a été mesurée à chaque traite. Les TB et TP ont été mesurés individuellement à chaque traite entre les jours 21 et 27 de chaque période avec un analyseur infra-rouge (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Danemark).

A j 25, des échantillons de lait prélevés à la traite du matin et du soir ont été mélangés proportionnellement aux productions du matin et du soir. Les teneurs en matières azotées totales, protéines, caséines, protéines solubles (méthode Kjeldahl), calcium total et soluble (spectrométrie de flamme), la taille des globules gras (Coulter Multisizer II) ont été mesurées sur ces échantillons. Le rendement fromager a été mesuré par centrifugation d'un caillé après 1h de coagulation à 37°C en étuve.

1.4. FABRICATION DE MINI-EMMENTALS ET MESURES

Trois mini-emmentals ont été fabriqués à partir du lait de 2 traites consécutives pour chaque groupe de 3 vaches laitières. Les options technologiques de préparation du lait ont été choisies dans un souci de préserver l'intégralité des globules gras des laits mis en œuvre : utilisation de lait cru et standardisation du seul taux de matières grasses (rapport MG/MAT) pour éviter l'apport de crème.

Une partie du lait a été réchauffée jusqu'à une température de 40°C et écrémée sur une écrémeuse portative (Elecrem 110, Vanves). Le lait écrémé a été refroidi à 4°C, puis mélangé au lait entier dans des proportions adéquates pour standardiser le rapport MG/MAT à une valeur de 0,86. Le lait ainsi standardisé en matières grasses a été stocké à 4°C jusqu'à sa transformation le lendemain.

Les fabrications des mini-fromages à pâte cuite de type emmental (800 g environ) ont été réalisées selon le protocole standardisé de l'ITFF (Buisson *et al.*, 1987). Il s'agit d'une technologie capable d'absorber des variations de composition du lait. Elle comporte une maturation chaude longue. Le décaillage a été conduit, après l'obtention d'une fermeté standard du *coagulum* selon une allure standardisée, de manière à obtenir une taille de grains moyenne de 3,5 mm optimale pour l'égouttage. Les brassages avant et après feu

(53,5°C) ont été importants. Le pressage (4 h à 70 g/cm²) et l'acidification ont été réalisés en étuves thermostatées pour simuler la cinétique thermique des meules de 80 kg. Après salage, les fromages ont été affinés sous film pendant 21 jours à 11°C, puis 21 jours à 24°C. Lors de cette expérimentation, la durée du brassage avant feu a été adaptée pour limiter des différences prévisibles d'égouttage liées aux écarts de taux protéiques (amplitude 6g/kg de MAT).

Les contrôles classiques ont été réalisés au cours de la fabrication : suivis de pH et de température, détermination des teneurs en matière sèche et en matière grasse 30 min après moulage et à J+1. En fin d'affinage, la composition des fromages a été analysée en termes de teneurs en matière sèche, matière grasse, chlorures, calcium et protéolyse. La texture des fromages a été appréciée par une mesure de force d'extrusion à l'aide de l'extrudeur ITG-INSA (Riberolles, 1990). La couleur des fromages a été mesurée par un test tristimulus (chromamètre Minolta, CR310, tête de 50 mm). Les propriétés thermofonctionnelles des fromages affinés ont été mesurées selon les protocoles développés par l'ITFF (Richoux *et al.*, 2001 ; Roset *et al.*, 2004) : étalement (test de Schreiber), exsudation d'huile (mesure butyrométrique de la matière grasse du fromage fondu extractible dans l'eau), "élasticité à chaud" (force d'extrusion du fromage fondu dégraissé obtenu lors de l'analyse précédente), filant (test de traction verticale), couleur des gratins (mesure au chromamètre).

1.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été traitées par une analyse de variance avec la procédure MIXED du logiciel SAS.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. PRODUCTION ET COMPOSITION DU LAIT

L'interaction régime-taille de globules n'a été significative pour aucun paramètre et nous présentons les effets principaux.

Au pâturage, la production laitière a été accrue (2,9 kg/j). Ce résultat diffère de ceux généralement rapportés (Loor *et al.*, 2003) mais peut s'expliquer par des différences d'apport énergétique. L'ingestion d'herbe calculée (Delagarde *et al.*, 2004) a été de 15,8 kg/j de MS ce qui correspond à un apport de 19,9 UFL/j compte tenu de la valeur énergétique de l'herbe et de l'apport de concentré. Dans le même temps, l'apport énergétique était de 17,3 UFL/j avec l'ensilage de maïs. Le régime pâturage apportait donc aux vaches laitières 2,6 UFL/jour en plus que le régime ensilage de maïs.

La synthèse des matières grasses a légèrement diminué (-34 g/j) et celle des protéines a augmenté (77 g/j). Compte tenu de la forte augmentation de la production laitière, le taux butyreux et le taux protéique ont diminué respectivement de 6,6 g/kg et de 0,9 g/kg par effet de dilution. La diminution du taux protéique est associée à une diminution de la teneur en caséines (-0,7 g/kg) et en protéines solubles (-0,2 g/kg). Il n'y a pas eu d'effet significatif sur le rapport caséines sur protéines. Le pâturage a provoqué une diminution significative de la teneur en calcium total et colloïdal des laits, peut-être due à une mauvaise absorption des minéraux de l'herbe (Meschy *et al.*, 1993) (tableau 1).

La taille des globules gras du lait a diminué au pâturage (-0,29 µm). Ce résultat a déjà été observé par Hurtaud *et al.*, (2004) et Couvreur *et al.*, (2004) et est probablement en rapport avec la diminution du taux butyreux (Wiking *et al.*,

2004). Le profil en acides gras des laits a été fortement modifié par un accroissement des acides gras mono et poly-insaturés (respectivement 10,4 et 2,2 %). Cette modification du profil en acides gras du lait résulte de la richesse de l'herbe en acides gras insaturés et en particulier en acide alpha-linolénique (Chilliard *et al.*, 2001).

Entre les animaux à petits globules gras et ceux à gros globules gras, l'écart de taille a été de 0,6 μm . Les animaux à petits globules se sont caractérisés par une production laitière plus élevée (+ 5,6 kg/j), un TB (-11,2 g/kg) et un TP (-3,8 g/kg) plus faibles que les animaux à gros globules. Wiking *et al.*, (2004) avaient déjà rapporté une corrélation positive entre la taille des globules et le taux butyreux. Les laits à petits globules gras ont également été caractérisés par une teneur en calcium colloïdal et un rapport calcium colloïdal sur caséines plus faibles. Ces résultats mériteraient d'être approfondis au niveau des mécanismes de régulation des synthèses dans la cellule épithéliale mammaire.

Les petits globules ont eu tendance à être moins riches en acides gras saturés (-2,3 %, $p = 0,097$). Cette différence de composition pourrait être liée à une teneur plus importante en membrane riche en acides gras insaturés ou serait une conséquence du lieu de formation des micro-gouttelettes à l'origine des plus petits globules gras, la partie basale de la cellule épithéliale mammaire riche en acides gras insaturés (Timmen et Patton, 1988).

2.2. PROPRIETES DES FROMAGES

2.2.1. Aptitude fromagère

Les rendements fromagers mesurés en frais ou en MS ont été plus élevés avec l'ensilage de maïs.

Le pH du lait a eu tendance à être plus faible avec les gros globules (-0,03 unité pH, $p = 0,098$). Les rendements fromagers en frais ou en MS ont été améliorés avec les laits à gros globules. L'amélioration du rendement fromager est une conséquence directe des taux plus élevés en protéines et en matières grasses (plus de matière utile) (Hurtaud *et al.*, 2001) (tableau 2).

2.2.2. Propriétés fonctionnelles des mini-emmentals

Les cinétiques d'acidification ont été équivalentes pour tous les traitements. Après standardisation des laits, aucun effet du régime n'a été mis en évidence sur les paramètres de fabrication, sur les rendements, sur les principaux paramètres de composition et sur les propriétés rhéologiques des emmentals. Cette absence de différenciation des fromages par leur texture est surprenante puisque l'impact de l'alimentation des vaches sur les propriétés rhéologiques des fromages est bien établie (Martin *et al.*, 2003)

En revanche, des différences importantes d'égouttage sont apparues entre les fromages issus des laits à petits ou gros globules. Malgré les précautions méthodologiques mises en œuvre, le rapport humidité sur extrait sec dégraissé (H/ESD) a été plus élevé avec le lait petits globules à tous les stades de la fabrication et de l'affinage (+0,07 après 30 min, 0,08 à J+1 et 0,06 à J+42) (tableau 2). Ce phénomène peut s'expliquer par la richesse en protéines des laits et/ou par un effet propre de la taille des globules gras. En effet, à rapport MG/MAT équivalent, les caillés et fromages frais issus des laits à petits globules génèrent plus de surface membranaire globulaire riche en phospholipides, dont l'impact négatif sur l'égouttage est bien établi (Michalski *et al.*, 2002).

Les laits à gros globules ont conduit à des rendements fromagers plus importants à J+1 : 9,68 % contre 8,59 % pour les rendements bruts et 9,97 % contre 8,65 % pour les

rendements standard à 61,5 % d'EST. Cet écart s'explique essentiellement par les taux de matière sèche utile des laits mis en œuvre. En effet, nous avons retrouvé une excellente corrélation linéaire ($r^2=0,91$) entre le taux protéique du lait standardisé et le rendement standard. A taux protéique identique, les laits à petits globules donnent des rendements bruts supérieurs en raison de la réduction de l'égouttage.

Les fromages issus des laits à petits globules sont moins fermes (force d'extrusion de 6,1 contre 7,6 kgF pour les fromages à gros globules). Le rapport H/ESD des fromages étant le facteur de variation majeur de la fermeté ($r^2=0,72$ dans ce jeu de données), il est très difficile de différencier l'effet propre de la taille des globules de celui de l'humidité. Les autres paramètres de composition (gras-sur-sec, minéralisation, protéolyse) ne sont pas différents entre les fromages en fin d'affinage.

Aucune différence significative de couleur des fromages n'a été observée ni entre les régimes ni entre les tailles de globules. L'indice de jaune et la coordonnée b^* (axe vert-jaune) du test tristimulus étaient inversement proportionnels au gras-sur-sec des fromages qui variait entre 48 et 49 % ($r^2=0,91$). De tels résultats avaient déjà été observés par Notz (1997) dans des fromages à pâte cuite de type Comté, fabriqués en modifiant le gras-sur-sec et l'alimentation des vaches (foin ou herbe pâturée).

Quel que soit le régime, les fromages issus des laits à petits globules s'étalent significativement plus à chaud. Le rapport [surface du fromage fondu]/[surface initiale du palet de fromage] prend une valeur moyenne de 2,48 avec le fromage à petits globules contre 2,01 avec celui à gros globules. Néanmoins, il est là encore très difficile de différencier l'effet propre de la taille des globules de celui de l'humidité. En effet, nous retrouvons dans ce jeu de données une corrélation positive entre l'H/ESD des fromages affinés et le coefficient d'étalement ($r^2=0,79$), qui correspond à nos observations antérieures (Roset *et al.*, 2004).

En revanche, les différences d'exsudation d'huile peuvent être difficilement imputées aux écarts d'égouttage puisque ce sont les fromages les plus humides (à petits globules) qui exsudent le plus de matière grasse (1,1 g/100 g de fromage soit 4,6 g/100 g de MG). Cette exsudation accrue des fromages à petits globules pourrait s'expliquer par une moindre distance interglobulaire. A taux de matière grasse équivalent et pour une taille de globule réduite, ces fromages contiennent un nombre plus important de globules, qui sont plus rapprochés dans la matrice. On peut supposer que le phénomène de coalescence a pu être ainsi favorisé.

Les fromages issus de laits à petits globules tendent également à gratiner plus fortement. Les gratins sont plus sombres (-2 U.A. de luminance) et ont une composante rouge plus prononcée (+1,6 U.A. de a^*) en moyenne.

Aucune différence de propriétés filantes ou d'élasticité à chaud n'a été observée.

CONCLUSION

Cet essai a permis de mettre en évidence l'effet de la taille des globules gras sur les propriétés culinaires à chaud des emmentals alors que l'alimentation n'a eu que des effets mineurs. Néanmoins, malgré les précautions méthodologiques, il reste difficile de dissocier l'effet propre des globules de celui de l'humidité accrue des emmentals, qui est intimement liée à la taille des globules gras.

Les auteurs remercient l'Association Gala, Arilait Recherches et le Conseil Régional de Bretagne pour leur participation financière.

Buisson V., Kerjean J.R., Courroye M., 1987. Techn. Lait. Market., 1024, 17-23.

Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M., 2001. Liv. Prod. Sci., 70, 31-48.

Couvreur S., Hurtaud C., Delaby L., Peyraud J.L., 2004. Proc. EGF, 1142-1144.

Delagarde R., Faverdin P., Baratte C., Peyraud J.L., 2004. Renc. Rech. Ruminants, 11, 295-298.

Hurtaud C., Buchin S., Martin B., Verdier-Metz I., Peyraud J.L., Noël Y., 2001. Renc. Rech. Ruminants, 8, 35-42.

Hurtaud C., Berthelot D., Delaby L., Peyraud J.L., 2004. Proc. EGF, 1145-1147.

Loor J.J., Soriano D.D., Lin X., Herbein J.H., Polan J.E., 2003. Anim. Feed Sci. Technol. 109, 105-119

Martin B., Buchin S., Hurtaud C., 2003. INRA Prod. Anim. 16, 283-288.

Meschy F., Faurie F., Guéguen L., 1993. INRA Prod. Anim. 6, 47-51

Michalski M.C., Cariou R., Michel F., Garnier C., 2002. J. Dairy Sci., 85, 2451-2461.

Notz E., 1997. Etude ITFF DC 1997/07/ABC

Riberolles A., 1990. Process, 1046, 53-55.

Richoux R., Roset G., Famelart M.H., Kerjean J.R., 2001. Lait, 81, 547-559.

Roset G., Richoux R., Aubert L., Kerjean J. R., 2004. Etude ITFF DRO 2004/09/C.

Wiking L., Stagsted J., Björck L., Nielsen J.H., 2004. Int. Dairy J., 14, 909-913.

Tableau 1 : production et composition du lait

	Ensilage de maïs		Pâturage		ET _{gg} ¹	ETR ²	Effet		
	pGG	gGG	pGG	gGG			Régime	Globule	Fourrage*GG
Diamètre GG, µm	3,65	4,23	3,32	3,98	0,167	0,247	0,003	0,003	0,554
Lait, kg/j	25,4	20,0	28,5	22,7	0,85	1,58	< 0,001	< 0,001	0,632
Taux butyreux, g/kg	38,9	50,5	32,7	43,5	2,16	2,54	< 0,001	< 0,001	0,646
Taux protéique, g/kg	31,0	35,4	30,6	33,9	0,82	1,18	0,025	< 0,001	0,128
Caséines, g/kg	24,5	28,9	24,4	27,7	0,82	1,56	0,080	0,002	0,133
Protéines solubles, g/kg	6,2	7,0	6,1	6,7	0,92	0,20	0,044	< 0,001	0,365
Caséines/ protéines, %	79,7	80,6	79,9	80,6	0,52	2,48	0,689	0,577	0,562
Calcium total, mg/kg	1262	1303	1137	1153	36,9	75,1	< 0,001	0,530	0,436
Calcium colloïdal, mg/kg	943	1035	852	903	46,8	59,3	< 0,001	0,060	0,308
Ca colloïdal/caséines, mg/g	38,5	35,8	35,1	32,6	2,04	1,63	0,004	0,018	0,892
AG saturés, %	75,2	76,0	61,1	65,0	2,64	2,24	< 0,001	0,097	0,212
AG mono-isaturés, %	22,5	21,6	34,0	30,9	2,24	1,91	< 0,001	0,102	0,269
AG poly-insaturés, %	2,34	2,34	4,89	4,14	0,552	0,436	< 0,001	0,160	0,134

¹ Ecart-type pour tester l'effet des globules gras.

² Ecart-type résiduel du modèle

Tableau 2 : aptitude fromagère des laits et propriétés des mini-emmentals

	Ensilage de maïs		Pâturage		ET _{gg} ¹	ETR ²	Effet		
	pGG	gGG	pGG	gGG			Régime	Globule	Fourrage*GG
Rendement fromager, %	32,4	44,4	28,6	35,8	3,42	3,41	0,002	< 0,001	0,119
Rendement fromager MS, %	63,6	72,1	59,8	66,1	2,67	2,34	0,001	< 0,002	0,293
Mini-emmentals									
EST ³ 30 min après moulage, %	60,6	61,7	61,1	62,2	nd	0,92	0,441	0,085	0,989
H/ESD ⁴ 30 min après moulage	1,27	1,20	1,25	1,18	nd	0,04	0,529	0,036	0,850
EST ³ J+1, %	61,6	63,3	62,2	63,0	nd	0,97	0,724	0,065	0,459
H/ESD ⁴ J+1	1,24	1,12	1,20	1,15	nd	0,039	0,957	0,011	0,205
EST ³ J+42, %	63,6	64,7	64,0	65,4	nd	1,37	0,529	0,149	0,874
H/ESD ⁴ J+42	1,12	1,05	1,09	1,03	nd	0,06	0,549	0,114	1,000
Etallement (indice)	2,49	1,97	2,46	2,05	nd	0,46	0,931	0,133	0,842
Exsudation, g/100g	18,0	17,0	18,4	17,1	nd	0,66	0,503	0,022	0,693
Exsudation, g/100g MG	58,4	54,6	59,6	54,2	nd	3,65	0,839	0,071	0,705
Extrusion à chaud, kgF	13,0	12,4	11,7	13,0	nd	0,96	0,538	0,538	0,136
Couleur de gratin									
L* (u.a)	61,5	64,4	63,2	64,4	nd	2,14	0,507	0,148	0,515
a* (u.a)	17,2	15,0	16,1	14,8	nd	1,90	0,604	0,159	0,676
b* (u.a)	48,6	49,6	49,3	49,3	nd	0,49	0,629	0,139	0,124
Filant, mm	47	75	59	81	nd	36,9	0,683	0,282	0,894

¹ Ecart-type pour tester l'effet des globules gras.

² Ecart-type résiduel du modèle

³ EST : extrait sec total

⁴ H/ESD : humidité sur extrait sec dégraissé