

Actualisation des besoins et efficacités énergétiques des femelles laitières

SAUVANT D. (1), ORTIGUES-MARTY I. (2), GIGER-REVERDIN S. (1), NOZIERE P. (2)

(1) INRA et AgroParisTech, UMR Mosar, INRA-AgroParisTech, Paris

(2) UMR Herbivores, INRA-VetagroSup, Theix

RESUME

Dans le cadre de la révision des systèmes d'unités d'alimentation des ruminants (projet INRA « Systali »), on a revisité les valeurs des besoins énergétiques d'entretien et d'efficacité de l'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) par les femelles laitières, vaches et chèvres essentiellement. Les résultats de la base de mesures calorimétriques « Rumener » ont été utilisés pour ces analyses. L'actualisation du calcul de l'EM a été publiée auparavant (Sauvant et Nozière, 2013). Les besoins d'entretien sont accrus par rapport aux références antérieures : 145 vs 117 kcal EM/kg PV^{0,75} et 94,3 vs 70 kcal EN_{NetteLait}/kg PV^{0,75} pour les vaches laitières et 110 vs 109 kcal EM/kg PV^{0,75} et 71,5 vs 65,3 kcal EN_L/kg PV^{0,75} pour les chèvres laitières. Pour l'efficacité k de la transformation de l'EM en ENL les résultats montrent que les valeurs relatives aux vaches et aux chèvres sont identiques. Pour les animaux en bilan d'énergie positif, l'efficacité kls spécifique de l'EM en EN lait est inférieure à celle de l'EM pour la rétention d'énergie kg. On a en moyenne kls = 0,65 et kg = 0,80. En outre, d'après les données, kg n'est pas différent de kt, l'efficacité de l'utilisation des réserves énergétiques en lait. On les a donc regroupées en un seul coefficient commun kgt lié à kls : kgt = kls + 0,15. D'autre part, le traitement des données a fait apparaître une différence dans la prévision des valeurs de kls en fonction de q = EM/EB par rapport à l'équation utilisée auparavant : kls = 0,65 + 0,247 (q - 0,63). L'application de cette équation à l'orge de référence, utilisée depuis 1987, aboutit à un léger accroissement de la valeur UFL de référence 1760 Kcal lait/kg brut (vs 1700). Pour les valeurs UFV, l'application des relations Systali et des coefficients kmf précédents aboutit aussi à la valeur de 1760 kcal. Ces dernières modifications présentent un impact mineur sur la valeur UFL du lait de référence à 750 kcal : 0,43 vs 0,44 UFL.

Updating energy requirements and efficiency of female dairy ruminants

SAUVANT D. (1), ORTIGUES-MARTY I., GIGER-REVERDIN S. (1), NOZIERE P.

(1) INRA et AgroParisTech, UMR Mosar, INRA-AgroParisTech, Paris

SUMMARY

As part of the revision of the ruminant feed unit systems (INRA project "Systali"), it was decided to revisit the energy requirements and efficiency of the metabolisable energy (ME) used in dairy females, especially cows and goats. For this we used the "Rumener" database for calorimetric records. The new calculation of ME from Gross Energy (GE) has been proposed previously (Nozière and Sauvant, 2013). Maintenance requirements have increased compared to previous values: 145 vs 117 kcal ME/kg LW^{0.75} and 94.3 vs 70 kcal NEL/kg LW^{0.75} for dairy cows and 110 vs 109 kcal ME/kg LW^{0.75} and 71.5 vs 65.3 kcal NEL/kg LW^{0.75} for dairy goats. For the efficiency of transformation of ME to NE, k, the data show the same values for cows and goats. For animals with a positive energy balance, the kls values, the specific efficiency of ME into milk energy, were lower than those of energy retention, kg. Mean values are kls = 0.65 and kg = 0.80. Moreover, according to the data, kg was not different from the efficiency of body energy mobilization, kt, into milk energy. Therefore they were pooled into a common value kgt linked with kls: kgt = kls + 0.15. On the contrary, the equation of prevision of kls as a function of q = ME/GE was found to be different from the previous one: kls = 0.65 + 0.247 (q - 0.63). The application of this equation to the reference barely used since 1987 led to a small increase of the energy equivalent of one UFL: 1760 milk kcal (vs 1700). For the feed unit for meat (UFV), the application of the Systali equations to the previous kmf coefficient also provided a mean value of 1760 kcal for one UFV. These last modifications have only a small impact on the UFL value of the reference milk of 750 kcal: 0.43 vs 0.44 UFL.

INTRODUCTION

L'énergie est le facteur limitant majeur des performances, notamment car elle influe les valeurs d'encombrement des rations. De plus, elle constitue l'élément nutritif le plus coûteux des régimes alimentaires (50 à 70%). Enfin, les réponses animales multicritères aux variations des apports énergétiques constituent un levier important de l'adaptation des régimes à différents contextes techniques, environnementaux et économiques.

Depuis des décennies les systèmes d'unités d'énergie des ruminants ont été périodiquement améliorés. En France peu de modifications ont été effectuées depuis 1978, date du remplacement des UF Leroy par des nouveaux systèmes d'UFL et UFV (Vermorel, 1978). Cependant, des interrogations se font jour et des débats existent autour de ces systèmes. Dans le cadre du projet INRA-Systali il a donc semblé important de revisiter ces questions de nutrition énergétique en

s'appuyant sur de nombreuses données de mesures calorimétriques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. LE CONTEXTE ET LES CONCEPTS

Les définitions de base de la nutrition énergétique n'ont pas été modifiées. L'énergie brute (EB) représente l'énergie potentiellement valorisable par les êtres vivants, elle dépend des teneurs relatives en glucides, protéines et lipides. Dans la base Rumener (cf plus loin) l'EB varie assez peu au sein des rations (moyenne ± écart type : 4,43 ± 0,17 Mcal/kg MS). L'EB n'est qu'en partie digestible par l'animal. Ainsi, par des mesures de digestibilité on quantifie l'énergie digestible (ED, en %EB) en intégrant les pertes d'énergie par la voie fécale (EF = 32,4 ± 8,3 %EB) : ED = EB - EF. L'ED est partiellement perdue sous forme de méthane (ECH4 = 6,6 ± 1,8 %EB) et par la voie urinaire (EU = 4,1 ± 0,4 %EB). L'énergie résultante s'appelle l'énergie métabolisable (EM = ED - ECH4 - EU =

57,0 ± 8,1 %EB). Dans le cadre INRA-Systali, la prévision des valeurs EM des aliments et des régimes a été révisée avec la prise en compte des interactions digestives et des pertes d'énergie sous forme de méthane et d'urine (Sauvant et Nozière, 2013).

L'EM n'est que partiellement valorisée par l'animal car une majeure partie est perdue sous forme de production de chaleur (EC = 46,9 ± 12,9 %EB). L'énergie nette de production, qui résulte de la soustraction de l'EC à l'EM (EN = EM - EC), se trouve sous forme d'énergie contenue dans les produits animaux élaborés (lait, gain de poids...). La production de chaleur associée aux dépenses énergétiques d'entretien peut aussi être exprimée en EN.

A partir de ces définitions plusieurs critères d'efficacité énergétique (Eff.E) ont été proposés. L'efficacité énergétique de la sphère digestive est évaluée par le critère $q = EM/EB$, qui est étroitement lié à la digestibilité de la Matière Organique (dMO) des régimes. Pour évaluer l'efficacité énergétique métabolique, on définit le critère $k = EN/EM$, rendement de l'EM en EN. En conséquence, l'efficacité énergétique globale de l'animal (Eff E = EN/EB) est égale au produit $q \times k$. En pratique, le critère k dépend de q , donc de la qualité du régime (voir plus loin), mais également de la fonction physiologique considérée, en conséquence, on est amené à évoquer différentes variantes pour k avec les paramètres k_l (Eff. E de l'EM ingérée en EN lait+réserves lorsque la rétention d'énergie est positive, $ER > 0$), k_t (Eff E des réserves en EN lait lorsque le bilan d'énergie est négatif, $ER < 0$), k_s (Eff E de l'EM ingérée en EN lait seule), k_g ou k_f (Eff E de l'EM ingérée en EN de gain de poids et mise en réserve d'énergie), k_{tg} (Eff.E de EM ingérée en EN réserves et Eff.E des réserves en EN lait lorsque $k_g = k_t$) et k_m (Eff. E de l'EM ingérée en EN entretien)

1.2. ORIGINE ET TRAITEMENT DES DONNEES

Nous nous sommes appuyés uniquement sur des résultats de mesures calorimétriques rassemblés au sein de la base de données « Rumener » de l'UMR MoSAR INRA-AgroParisTech. Cette base, créée par D.Sauvant et S.Giger-Reverdin, a déjà été utilisée comme base de travail pour différentes publications (Sauvant et Giger-Reverdin, 2009, Sauvant et al., 2011). Elle est régulièrement actualisée et rassemble actuellement 1316 traitements (215 publications) appliqués à des bovins, ovins et caprins placés en conditions de mesures calorimétriques. Les publications, les expériences et les principaux types de facteurs alimentaires (niveau d'ingestion, proportion de concentré, ...) ont été codés de manière à pouvoir étudier spécifiquement leurs effets. Enfin, pour s'affranchir de l'influence des variations de gabarit intra-espèce, les flux d'énergie ont été rapportés au poids vif métabolique $PM = PV^{0,75}$.

En nutrition énergétique, la question du traitement statistique des données se pose pour dégager des lois générales à partir de résultats rassemblés au sein de plusieurs expériences. Pour cela, la régression a été et reste l'outil appliqué, cependant, il nous est apparu important de réfléchir sur la façon de traiter l'hétérogénéité des données qui résulte de la diversité des régimes alimentaires, des animaux, des statuts physiologiques... En effet, ces différentes approches ont une influence sur les valeurs de référence proposées. Ces questions n'ont jusqu'alors pas été systématiquement abordées. En résumé, il importe de savoir si les variations analysées concernent des réponses animales à des pratiques alimentaires, dans ce cas il faut calculer les réponses moyennes au sein d'expériences (étude intra, avec 1 point = 1 traitement, $X = EMI$ et/ou ER , $Y = ENL$). Par contre, si le but est d'évaluer un besoin, ou la dépense correspondante, il convient de privilégier l'étude des variations inter-expériences qui concernent plutôt des types d'animaux, des états

physiologiques, des contextes... Dans ce cas, $X = EMI$ et/ou ER , et $Y = ENL$, avec 1 point = 1 traitement ou 1 expérience. Dans cette publication nous ne comparons que les principaux résultats obtenus par les différentes approches, faute de place. La démarche de méta-analyse a été appliquée selon les recommandations de Sauvant et al (2008).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. EFFICACITE DE LA MOBILISATION DES RESERVES D'ENERGIE EN LAIT (kt)

Dans la littérature, les estimations de ce rendement kt pour les vaches laitières se situent entre 0,73 et 0,90, ces valeurs ont ensuite été appliquées aux petits ruminants. La valeur constante retenue en France depuis 1978 est de $kt=0,8$. Pour réévaluer kt , nous n'avons considéré que les 59 expériences de vaches et de chèvres en lactation présentant une valeur moyenne du bilan d'énergie négatif, et avec au moins un traitement nettement négatif. Pour ces données on a $ER/PM = -14,6 \pm 27,8$ kcal. L'ajustement intra-expérience est réalisé selon le modèle de réponse de l'ENLait produite dans le lait en fonction de l'ingestion EM/PM et de ER/PM . L'équation résultante est indiquée dans le tableau 1 (Eq 1). La valeur absolue de la constante de Eq 1 représente une estimation du besoin quotidien d'entretien, exprimées en EMm/PM , les valeurs correspondantes sont de 123 kcal pour les VL et pour les chèvres de 100 kcal. Le coefficient de ER/PM retombe sur la valeur $kt = 80$ % du système UFL actuel, dans Eq 1 cette valeur est associée à une efficacité $k_s = 58$ % qui est faible au regard des autres résultats obtenus.

2.3. COMPARAISON DES EFFICACITES k_s , kt ET kg

2.3.1. Approche besoins

Les traitements avec $ER > 0$ et $ER < 0$ ont été groupés au sein d'une approche de type « besoins » dans laquelle la variable expliquée est l'EM ingérée (EMI/PM) en fonction de la production d'énergie dans le lait (ENL/PM) et de ER/PM . Ce modèle tient compte de l'effet espèce, mais pas de l'effet expérience (donc 1 point=1 traitement), pour pouvoir se comparer au mieux aux équations de Agnew et Yang, 2004 construites de la sorte, on aboutit ainsi à l'Eq 2 (Tableau 1). Il y a un effet espèce significatif sur la constante de cette équation montrant que les besoins énergétiques d'entretien, exprimés en PM sont différents. Les coefficients associés à ENL/PM et ER/PM sont significativement différents, il en est donc de même pour les inverses. Il importe de souligner que, dans la variabilité résiduelle de cette Eq 2, il n'apparaît pas de différence significative entre les points des expériences avec $ER > 0$ et $ER < 0$, indiquant que la valeur commune obtenue de k_{tg} est statistiquement valable, au sein de ces données, pour l'anabolisme comme pour la mobilisation énergétique.

Pour les mêmes données, mais en appliquant un traitement intra expérience, hiérarchisé en intra-espèce, les coefficients sont assez stables mais la précision de l'équation est nettement améliorée (Eq 2b, Tableau 1) par rapport à l'Eq 2 dont la résiduelle incluait la variabilité inter-expériences. Le même modèle n'a ensuite été appliqué qu'aux expériences pour lesquelles ER moyen est ≥ 0 avec au moins une valeur présentant un ER très positif, l'équation obtenue est identique à Eq 2b, avec des valeurs $EMm/PM = 142,4$ et 107,1 pour les vaches et les chèvres et des efficacités $k_s = 64\%$ et $kg = 78\%$. Toujours en approche « besoin », en se plaçant en inter-expériences (1 point = 1 expérience), avec prise en compte d'un effet espèce, les coefficients sont assez proches des autres ajustements (Eq 2 et Eq 2b), par contre la précision est logiquement moins bonne (Eq 3, tableau 1).

Tableau 1 : Principales équations de régressions calculées pour estimer les besoins d'entretien ainsi que les efficacités pour les vaches (VL) et les chèvres (CL) laitières.

Equations	Eq 1	Eq 2	Eq 2b	Eq 3	Eq 4
Var.expliquée	ENL/PM	EMI/PM	EMI/PM	EMI/PM	ENL/PM
Type équation	Réponse	Besoin	Besoin	Besoin	Réponse
Constante (VL ; CL)	-71,3 ; -57,9	154,1 ; 121,5	146,1 ; 109,6	158,1 ; 116,1	-73,9 ; -56,0
Coef EMI/PM	0,580(0,02)				0,584(0,015)
Coef ENL/PM		1,445(0,035)	1,560(0,041)	1,476(0,057)	
Coef ER/PM	-0,800 (0,04)	1,173(0,059)	1,295(0,035)	1,187(0,090)	-0,759(0,030)
n ; nexp (1)	138 ; 59	227	227;89	89	227 ; 89
ETR (kcal.PM)	4,6	28,5	8,5	25,5	5,2
ENm/PM (VL ; CL)	71,3 ; 57,9	106,3 ; 83,8	93,5 ; 70,1	107,0 ; 78,6	73,9 ; 56,0
ktg% ; kls%	58 ; 80	69 ; 85	64 ; 77	62 ; 84	58 ; 76

(1) Nombres de traitements (n) et d'expériences (nexp)

2.3.2. Approche réponse

En regroupant les traitements avec ER>0 et <0, l'approche de type « réponse » utilisée pour Eq 1 aboutit à l'Eq 4 (Tableau 1). Une fois encore les efficacités sont significativement différentes entre elles. En outre, le paramètre de ktg de cette équation et celui kt de Eq 1 ne se différencient pas.

2.3.3. Bilan comparatif des données

Lorsque l'on fait les moyennes des différents paramètres obtenus avec les 5 équations du tableau 1, on aboutit aux valeurs de EMm/PM = **146,2** et **110,8** kcal/PM pour les vaches et les chèvres respectivement, soit 94,7 et 71,8 en kcal ENL/PM. Pour les efficacités on obtient les moyennes de kls = **64,8%** et ktg = **80,5%**.

D'autre part, dans la littérature quelques auteurs ont cherché à estimer de façon différentielle les valeurs de kls, kg et kt sur des vaches laitières. Les principaux résultats sont résumés au tableau 2. Dans ces approches l'unité élémentaire est l'individu et non le traitement comme dans Rumener.

Tableau 2 : Données de la littérature sur l'estimation des besoins d'entretien des vaches et sur les efficacités de l'utilisation de l'EM.

Ref	Nb (1)	ENm ;EMm Kcal/PM	kl%	kg%	kt%
Moe et al., 1972	350	78,1 ;121,1	64,5	74,6	78,1
Yan et al., 1997	281	121,0 ;179,0	67,6	90,0	92,6
Kebreab et al., 2003	650	81,6 ;148,2	55,0	84,0	66,0
Strathe et al., 2011	701	69,4 ;115,6	60,0	70,0	80,0
Moraes et al., 2015	(1038)	124,3 ;182,6	70,0	78,0	90,0
Moyenne		94,9 ; 149,3	63,5	79,4	81,3

(1) Nombre de mesures individuelles traitées

Moe et al. (1971) avaient fait leur proposition, à partir des données issues du centre de Beltsville (USA). Yan et al. (1997) avaient obtenu leurs estimations sur des données de vaches de centres de recherches situés en Grande Bretagne. Ultérieurement, dans le même pays, Yan et al. (2000) ont obtenu, à partir de 42 expériences mettant en jeu environ 1500 vaches, un nouveau jeu d'estimations proches de leurs valeurs antérieures : EMm/PM = 159, kls = 69,0 % et ktg = 92,6 %. Ultérieurement, Kebreab et al (2003) ont suggéré, à partir de

la même base de données une valeur assez faible pour kls et pour kt avec une différence assez forte entre kg et kt (kg-kt= 18). En revanche, plus récemment, en appliquant une approche bayésienne, Strathe et al. (2011) ont obtenu, sur des données issues de Grande Bretagne et des Pays Bas, une hiérarchie kt>kg pour leur 3^e approche qui est la mieux documentée. Enfin, Moraes et al. (2015) ont également abordé ces questions à partir de toutes les mesures effectuées à Beltsville (USA). En ne considérant que les résultats les plus récents (1984-95), ces auteurs ont également observé à travers une approche bayésienne, que kt>kg.

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes calculées à travers ces cinq références, il apparaît que kg n'est en moyenne pas différent de kt (valeur commune de ktg = 80,3%). Ces moyennes extraites de la littérature sont très proches des moyennes citées plus haut pour les données de la base Rumener, ce qui est satisfaisant. Nous suggérons donc de retenir des valeurs arrondies proches des moyennes de nos données ainsi confortées. Pour les rendements standards, nous proposons de retenir kls = **65%** et ktg = **80%**. Pour l'entretien nous proposons EMm = **145** et **110** kcal/PM pour les vaches et les chèvres respectivement, ce qui correspond aux valeurs ENm de **94,3** et **71,5** kcal/PM.

2.4. INFLUENCE DE LA QUALITE DU REGIME SUR L'EFFICACITE DE L'EM EN ENERGIE NETTE

L'approche ci-dessus permet de disposer de valeurs moyennes consolidées des besoins d'entretien et des efficacités kls et ktg. Lorsque les 219 traitements pris en compte sont considérés, une relation étroite ($R^2 = 0,92$), logiquement confondue avec la première bissectrice, lie les valeurs mesurées d'EMI/PM (EMIPMmes) et celles qui sont prédites (EMIPMpred) à partir des performances et des valeurs de besoins d'entretien et d'efficacité proposées ci-dessus. Les variations résiduelles (ETR = 25,3 kcal EMI/PM), cause de l'imprécision de cette équation, peuvent être « capturées » par le rapport REMI = EMIPMmes/EMIPMpred = $1,00 \pm 0,08$. Une relation négative significative associe le rapport REMI et le critère q = EM/EB, centré sur la moyenne de 0,57, principalement dans le cas des expériences où PCO, ou NDF, variaient :

$$\text{REMI} = \text{EMIPMmes}/\text{EMIPMpred} = 1,03 - 0,404 [q - 0,57] \\ (n = 59, \text{nexp} = 23, \text{ETR} = 0,035) [1]$$

Lorsque [q - 0,57] augmente, la ration est plus concentrée en énergie et REMI diminue, cela signifie que, à performance égale, EMI/PM diminue et l'efficacité de l'EM en EN augmente. La teneur en MAT n'interfère pas dans cette relation. En

pratique, on peut donc penser appliquer, en retour, les modulations du rapport 1/REMI aux efficacités kls et ktg en vue d'améliorer la prévision des réponses à la teneur en énergie des régimes. Sous l'hypothèse d'une absence de modification de la partition entre lait et réserves (cf plus loin), on multiplie les rendements kls = 0.65 et kg = 0.8 par 1/REMI. Avec une prédiction basée sur l'équation précédente, on aboutit à une prédiction de kls fonction de q. Un ajustement linéaire des 59 résultats disponibles aboutit à l'équation suivante:

$$\text{kls} = 0,65 + 0,247 (q - 0,63)$$

(n=59, R²=0,35, ETR=0,02) [2]

Dans cette équation, on obtient la valeur kls = 0,65 pour q = 0,63 ce qui correspond à une très bonne ration (environ 0.95 UFL/MS). Cette équation correspond à des valeurs kls supérieures à l'équation kl=f(q) utilisée jusqu'alors (Vermorel et al., 1978), l'écart, en moyenne de 3.5 points, est quasi-systématique car les pentes des deux équations sont très proches. La même approche peut s'appliquer au coefficient ktg, en appliquant la relation ktg = kls + 0.15.

Sur la base des différents résultats obtenus, le bilan énergétique (BilENL, kcal) se calcule désormais de la façon suivante :

$$\text{Bil ENL} = [\text{EMI} - \text{ENent}/\text{kls} - \text{ENlait}/\text{kls}] * \text{ktg}$$

Avec ce calcul on aboutit à des valeurs de bilan très corrélées avec les calculs antérieurs avec des valeurs un peu plus faibles pour l'approche Systali. Par ailleurs, l'application de l'équation [2] aboutit à accroître les teneurs en ENL des aliments. Ainsi, sur l'ensemble des concentrés et co-produits, l'accroissement est de 7.5% d'ENL₂₀₀₇. Après discussion au sein du groupe Systali, il a été décidé de reprendre aussi le calcul de la teneur en EN de l'orge de référence de 1987 (Vermorel et al., 1987). On aboutit ainsi à une valeur commune pour l'UFL et l'UFV de 1760 kcal qui correspond à l'intersection des droites de réponse de kls et kmf en fonction de q. Ainsi, sur l'ensemble des données des aliments concentrés+coproduits, cette hypothèse aboutit à un accroissement de teneur en UFL de 3.9% par rapport à l'UFL₂₀₀₇. Toutes les modifications aboutissent à de légères modifications des valeurs des besoins. Par exemple le tableau 3 permet de comparer les besoins d'entretien en UFL des vaches et des chèvres laitières.

De même la valeur UFL du kg de lait standard de vache à 740kcal passe de 0,44 à 0,42UFL (valeurs arrondies).

3. CONCLUSIONS

Le développement d'une base de données de mesures calorimétriques a permis de calculer de nouvelles valeurs des besoins énergétiques d'entretien et des critères d'efficacité énergétique des femelles laitières. Les besoins d'entretien sont accrus, de façon plus importante pour les vaches que les chèvres laitières. Les efficacités de l'EM ne sont pas différentes entre les vaches et les chèvres, ce qui a permis le regroupement de données pour une meilleure précision. L'efficacité de l'EM pour la lactation, kls, a été séparée de celle de la mise en réserves (kg) car les valeurs sont statistiquement différentes. Par contre, kg n'est pas différent de l'efficacité des réserves mobilisées en énergie du lait (kt) si bien que les deux coefficients sont regroupés en un seul (ktg). Les nouvelles valeurs proposées se recoupent bien avec les propositions étrangères. En conséquence de ces modifications, une nouvelle façon de calculer le bilan énergétique est proposée et la valeur UFL de l'orge de référence est légèrement accrue à 1760 kcal (0,421 MJ) ENL /kg brut. Cette dernière valeur sert également de référence pour le calcul de la valeur UFV du kg d'orge.

Les modifications proposées constituent une évolution qui permet d'être plus précis dans les calculs et de mieux prédire les réponses des femelles laitières aux pratiques alimentaires.

Tableau 3 : Comparaison des valeurs des besoins d'entretien des vaches (650 kg PV) et des chèvres (70 kg PV) à l'attache

	Vaches 2007	Vaches Systali	Chèvres 2007	Chèvres Systali
UFL/PM	0,041	0,054	0,037	0,041
UFL / j	5,28	6,90	0,89	0,98

Agnew R. E., and Yan T. 2004. Chap 16 in "Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism", Ed CABI, p 421-442

Kebreab E., France J., Agnew R.E., Yan T., Dhanoa S., Dijkstra J., Beever D.E., and Reynolds C.K., 2003. J. Dairy Sci. 86, 2904–2913

Moe P.W., Tyrrell H.F., and Flatt W.P. 1971. J. Dairy Sci. 54, 548–553.

Moraes L.E., Kebreab E., Strathe A.B., Dijkstra J., France J., Casper D.P., and Fadel J.G., 2015. J. Dairy Sci. 98, 4012–4029

Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J. and St-Pierre N.R., 2008. Animal 2, 1203-1214

Sauvant D., Giger-Reverdin S., 2009. Inra Prod. Anim., 22, 375-384

Sauvant D., Giger-Reverdin S, Serment A and Broudiscou L 2011. INRA Productions Animales 24, 433-446

Sauvant D., Nozière P., 2013. INRA Productions Animales 26, 327-346

Strathe A. B., Dijkstra J., France J., Lopez S., Yan T., and Kebreab E. 2011. J. Dairy Sci. 94, 2520–2531.

Yan, T., Gordon F.J., Ferris C.P., Agnew R.E., Porter M.G., and Patterson D.C., 1997. Livest. Prod. Sci. 52, 177–186.

Vermorel M. 1978. Chap 2, in l'Alimentation des Ruminants. Ed INRA.

Vermorel M., Coulon J.B. and Journet M. 1987. Bulletin Technique du CRZV Theix 70, 9-18