

Actualisation des besoins protéiques des ruminants et application à la détermination des réponses des femelles laitières aux apports de protéines digestibles dans l'intestin (PDI).

SAUVANT D. (1), CANTALAPIEDRA-HIJAR G. (2), 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»), il a été décidé de revisiter les besoins protéiques ainsi que les réponses aux variations des apports protéiques. Depuis 1978, les besoins PDI d'entretien étaient proportionnels au poids vif élevé à la puissance 0,75, et donc indépendants du niveau de production. Il a été décidé de faire évoluer ce calcul vers celui appliqué dans tous les systèmes étrangers, à savoir la détermination des différentes pertes azotées obligatoires car exportées de l'organisme en toutes situations pratiques. Les trois principales voies de pertes, qui aboutissent aux besoins protéiques non productifs, sont, par ordre décroissant d'importance, les protéines endogènes fécales (PEF), les pertes azotées urinaires endogènes (NUE) et les pertes de protéines par les phanères (PPH). Ces actualisations ont été effectuées par approche factorielle et, dans la mesure du possible, à partir de méta-analyses de larges bases de données de la littérature.

Dans une seconde approche, les valeurs des besoins PDI « non productifs » ont été appliquées à des expériences (nexp), conduites sur des vaches (nexp = 54) ou des chèvres (nexp = 33) laitières avec pour objectif d'étudier les variations des réponses aux apports protéiques. Les apports PDI de ces expériences ont été calculés selon la méthode systali (Sauvant et Nozière, 2013). Pour l'estimation de la réponse de l'efficacité des PDI (EffPDI en %) en fonction de la concentration en PDI (PDI en g/kgMS) du régime, après avoir testé 4 hypothèses de calcul, il a été décidé d'appliquer la même valeur d'EffPDI pour les productions des protéines du lait, pour les PEF, pour les PPH ainsi que pour l'accrétion des protéines corporelles, liée au bilan d'énergie. L'efficacité des PDI est une fonction décroissante non linéaire de la concentration en PDI (g/kgMS) : $\text{EffPDI} = \text{EffPDI}_{100} * \exp [-b (\text{PDI}-100)]$, EffPDI100 étant l'efficacité correspondant à une ration ayant 100 g PDI/kg MS. Pour les vaches laitières, EffPDI100 est égale à 65,6, et l'écart-type intra-expérience de l'ajustement est de 2,0. Les variations résiduelles globales de cette équation sont largement expliquées, en inter- et intra-expériences, par le bilan UFL et, pour des régimes à l'équilibre des besoins énergétiques, on obtient EffPDI100 = 67. Pour les chèvres les lois de réponse d'EffPDI à la concentration en PDI de la ration sont très similaires avec cependant moins de précision (ETR = 3,7 vs 2,0).

Updating protein requirements in ruminants, application to the determination of the responses of lactating females to metabolisable protein supply (PDI)

SAUVANT D. (1), CANTALAPIEDRA-HIJAR G., NOZIERE P.

(1) UMR Mosar, INRA-AgroParisTech, Paris

SUMMARY - As part of the revision of ruminant feed unit systems (INRA "Systali" project), it was decided to update the protein requirements in ruminants as well as responses to changes in protein supply. Since 1978, PDI maintenance requirements were proportional to body weight exponent 0.75, and therefore independent of the level of production. It was decided to change the calculation to that applied in most international feeding systems, namely the determination of different mandatory nitrogen losses in all practical situations. The three main routes of losses, which result in non-productive protein requirements, are, in decreasing order of importance, metabolic fecal protein (MFP), urinary endogenous nitrogen losses (NUE) and loss of protein from phaneres (PPH). These updates have been made by factorial approach and, to the extent possible, from meta-analysis of large databases in the literature. In a second approach, the values of "non-productive" PDI requirements were applied to experiments (nexp) performed on cows (nexp =54) or goats (nexp =33) with the aim of studying the variation of milk responses to protein supply. PDI contributions of these experiments were calculated using the systali method (Sauvant and Nozière, 2013). For estimation of the response of the efficiency of PDI (EffPDI in%) depending on the dietary concentration of PDI (g/kg DM), after testing 4 methods of calculation, it was decided to apply the same EffPDI value for milk protein synthesis, to PMF, to PPH as well as to the accretion of body proteins which was related to energy balance. EffPDI% is a non linear decreasing function of the PDI concentration (g/kg DM): $\text{EffPDI} = \text{EffPDI}_{100} * \exp [-b (\text{PDI}-100)]$. EffPDI100 corresponds to PDI efficiency at PDI = 100 g / kg DM. For dairy cows, EffPDI100 = 65.6, b=0.01 and residual standard deviation (RSD) of intra-experience adjustment cows is 2.0. Overall residual equations indicates that inter-and intra-experimental variations were largely explained by energy balance (EB, UFL/d), we obtained EffPDI100 = 67% when animals were at EB = 0. For goats, the laws of EffPDI response to PDI dietary concentrations were very similar with EffPDI100 = 67% when EB = 0, but with less precision (RSD= 3.7 vs 2.0).

INTRODUCTION

Une meilleure quantification de l'utilisation de l'azote constitue un défi de la nutrition des ruminants. En effet, il est connu que l'azote peut être un facteur limitant de l'activité des microbes de la panse et que les protéines peuvent limiter les performances en cas d'apport insuffisant par rapport aux besoins. En outre, il est connu que les excès protéiques

aboutissent à des rejets azotés, notamment par la voie urinaire avec un éventuel risque pour l'environnement. Il a été décidé, dans le cadre du projet INRA « Systali », de revisiter la question des besoins azotés des ruminants et d'établir des lois de réponses aux variations des apports alimentaires de PDI. Ce dernier aspect ne sera considéré ici que pour les vaches et chèvres en lactation.

1. LE PROJET SYSTALI

2. RAPPELS DES VALEURS 2007 DES BESOINS

2.1. BESOINS D'ENTRETIEN

Dans les versions précédentes du système INRA, le besoin d'entretien PDI avait été calculé sur des animaux proches de l'entretien et en se plaçant à la valeur nulle du bilan azoté. Ceci présentait l'intérêt d'avoir une valeur qui ne dépendait que du poids vif (bovins 3,25; ovins 2,50 et caprins 2,30 gPDI/kgPV^{0.75}). Par contre, cette approche ignorait les variations des pertes endogènes fécales et urinaires, ce qui pouvait entraîner des biais importants liés à la sous-estimation des besoins liés à ces dépenses non productives. Celles-ci sont d'ailleurs intégrées dans les autres systèmes au niveau international, par exemple les systèmes NRC (2001), Pays Bas (Van Duinkerken et al., 2011) et NorFor (Volden., 2011). En outre, cette situation de référence correspondait à des régimes pauvres en azote, soit PDIN < PDIE. Ainsi, les besoins PDI étaient calculés à partir des apports PDIN qui ignorent le recyclage azoté, ce qui contribue à une sous-estimation du besoin PDIE qui correspond plus au besoin réel.

2.2. BESOINS DE PRODUCTION

Le besoin lié à la production des protéines de lait supposait jusqu'alors que l'efficacité de la transformation des PDI disponibles pour le lait était constante et égale à 64% (Vérité et al., 1987), valeur proche des 67 ou 68% proposés dans plusieurs pays (NRC, 2001, Thomas, 2004, Van Duinkerken et al., 2011). Cependant, il est bien établi que ce rendement est variable et cet aspect est déjà intégré dans plusieurs systèmes récents (Volden, 2011 ; Van Duinkerken et al., 2011).

3. PROPOSITIONS SYSTALI

Comme pour la révision du calcul des valeurs des aliments et des rations (Sauvant et Nozière, 2013), la révision des besoins protéiques et la prédiction des réponses aux apports PDI s'appuie sur l'interprétation par méta-analyses de vastes bases de données de la littérature.

3.1. LES BESOINS PROTEIQUES NON PRODUCTIFS

3.1.1. Les protéines endogènes fécales (PEF)

Dans les principaux systèmes alimentaires proposés au niveau international, ces pertes sont sous une influence prépondérante du niveau d'ingestion. De ce fait, depuis près d'un siècle, elles sont en général exprimées en gN/kgMSI, ce qui ne permet pas de prendre précisément en compte la nature de la ration.

Pour aboutir à une estimation actualisée de ces PEF et mieux tenir compte de la ration, nous nous sommes appuyés sur 214 expériences (546 traitements, trt) de la base de données BoviDig sur la digestion des différents types de bovins (UMR MoSAR) pour estimer, à partir de données mesurées, les 3 composantes (en% de la MSI) des matières azotées (6.25 N) fécales donc non digestibles (MAND) : (1) alimentaire (en fonction des protéines alimentaires au duodénum, PIA)(2) microbienne (MAMicND = 0,2 MAMic) (3) endogène (en fonction de la MO non digestible (MOND)):

$$\text{MAND} = 0,163 \text{ PIA} + \text{MAMicND} + [0,57 + 0,074 \text{ MOND}]$$

(ntrt = 546, nexpt = 214, ETR = 0, 29) [1]

Avec **PEF = 0,57 + 0,074 MOND.**

On dispose ainsi d'une estimation moyenne de N endogène fécal, en, qui correspond à 4,25±0,79 et 4,49±1,04gN/kgMSI avec les données bovins (BoviDig) et ovins (base OviDig, UMRH), respectivement.

Pour évaluer le besoin PDI correspondant à la dépense liée aux PEF, la teneur en N aminé (Naa) de N fécal endogène, et l'efficacité de ces PDI doivent être estimées. La teneur en Naa, les systèmes NRC (2001) et NorFor (2010) supposent une proportion de 50%. Cette proportion semble être un peu faible, cependant nous suggérons de l'adopter faute d'éléments

permettant de la contester. Avec cette hypothèse appliquée aux vaches de la base Bovidig, la dépense protéique (6.25 N) liée aux PEF est égale à 31±5% de la sécrétion protéique laitière ce qui n'est pas négligeable. D'autre part, le coefficient d'efficacité des PDI de 0,67 est en général utilisé bien que cette valeur ne semble pas être précisément documentée, d'ailleurs Swanson (1977) la proposait pour les veaux non sevrés, alors que c'est une efficacité de 0,45 qui était proposée pour les adultes. Pour le NRC 2006, le rendement proposé est de 0.67 pour les ovins mais de 1 pour les caprins ! Nous suggérons de retenir cette valeur de 0,67 en première approche sachant que nous verrons que cette valeur est en fait variable dans le processus de calcul des rations (cf plus loin). Pour Tout ceci revient donc à calculer, à partir de l'équation [1] ci-dessus:

$$\text{PDIentFEC(g/kgMSI)} = [0,5 * 10 * (0,57 + 0,074 * \text{MOND} (\% \text{MS}))] / 0,67 [2]$$

Cette équation aboutit en moyenne à des valeurs de besoins en PDI pour les PEF de 19,8±3,7 (Bovidig-PDI), et 20,9±4,6 (Ovidig) g PDIentFEC/kgMSI. Sur Bovidig-PDI, sur 400 traitements environ, les valeurs correspondantes sont un peu plus faibles pour NorFor (18,2±3,4), mais un peu plus élevées pour le NRC (23,5±0,5) et les pays Bas (23,1±5,4). On remarque la faible variabilité du NRC montrant que la qualité de la ration y est moins prise en compte. Enfin, le système de Cornell-CNCPS (Fox et al., 2004) aboutit à des valeurs nettement supérieures (38,0±8,9). Cette diversité entre systèmes traduit des débats scientifiques en cours sur les hypothèses retenues.

3.1.2. Les pertes azotées urinaires endogènes (Nue)

La perte endogène urinaire a été définie dans les autres systèmes comme la perte azotée dans les urines correspondant à un animal recevant un régime totalement protéoprive mais suffisant en énergie. Il s'agit donc d'une perte azotée minimale, incluant l'inefficacité des PDI pour la synthèse correspondante des PEF, estimée avec des animaux en sous nutrition azotée très sévère incompatible avec vie productive. Dans le contexte actuel il semble important de définir une perte azotée urinaire minimale correspondant à un animal placé dans des conditions physiologiques « normales » et plus précisément définies.

Cette perte a été l'objet de nombreuses investigations au XXe siècle, elle varie entre 0,10 et 0,25 g Nue/kg PV^{0.75}, elle diminue avec l'âge. Les valeurs proposées par les différents systèmes font référence à des travaux assez anciens, avec des choix pas ou peu explicites, ainsi que des modes d'expressions divers du PV. Par exemple, pour le NRC on a pour les bovins (NRC, 2001) Nue = 0,44*PV^{0.50}, qui est une reprise de la proposition de Swanson (1977); pour les ovins (NRC, 2006) on a Nue = (3,375+0,147*PV)/6,25 g et pour les caprins (NRC, 2006), Nue = 0,165*PV^{0.75} g. En outre, dans ces propositions, le rendement métabolique des PDI considéré est de 0,67 pour bovins et ovins mais de 1 pour les caprins. Pour les bovins, les autres systèmes ont directement repris les valeurs proposées par le NRC sans vraiment les discuter (Volden, 2011, Van Duinkerken et al., 2011).

Pour actualiser cette question, nous nous sommes principalement tournés vers les nombreuses données de bilans azotés sur bovins, ovins et caprins en croissance, ou à l'entretien, de la base URZ (Salah et al, 2014). Cette base présente l'intérêt de comprendre de nombreux traitements à faible taux protéique. Les valeurs de N urinaire (NUR) sont parfois inférieures aux valeurs de 0,10-0,25 gNue/PV^{0.75} évoqués ci-dessus. Sur ces données, les régimes les plus pauvres en MAT ont été sélectionnés (MAT < 7,5%MS, soit 5,8±1,5%MS) et, dans ce cas, la relation entre PV et NUR est: **Log NUR = - 1,174 + 1,00 log PV** (n=76, R²=0.86, RSD = 0,21) [3]

Selon cette relation [3], les rejets d'N urinaire des ruminants recevant des régimes pauvres en MAT sont proportionnels à PV¹ et non à PV^{0.75}. Cette relation est confirmée en prenant plus de données (par exemple régimes avec MAT < 10%MS).

On aboutit à partir de l'équation [3] à une relation simple et commune aux trois espèces des pertes azotées urinaires « minimales » totales:

$$\text{NUR (g/j)} = 0,067 \text{ PV (kg)} [3']$$

Une démarche alternative consiste à supposer que l'animal à l'entretien azoté « minimal » est celui pour lequel l'excrétion d'N fécal(NF) est égale à l'N ingéré (NI-NF=0). L'excrétion NUR se rapprocherait ainsi de la perte endogène (qui comprend une partie liée à l'inefficacité des PDI pour les PEF). En pratique, cela revient à régresser NUR par rapport à Ndigestible apparent ingéré, et à calculer l'ordonnée à l'origine. Lorsque cette approche est pratiquée sur la base URZ-Nizar, on obtient (figure 1):

$$\text{NUR/PV (g/kgPV)} = 0,063 + 0,317 \text{ NDI/PV (g/kgPV)}$$

(ntrt=300, nex p = 83, ETR=0,030). [4]

Tableau 1 : Principaux paramètres des ajustements de l'efficacité des PDI pour le lait en fonction des 4 méthodes décrites

Méthode	EffPDI100	b	ETR global	ETR intra
(1)	53,7	-0,014	9,3	4,9
(2)	62,7	-0,014	7,3	3,5
(3)	63,5	-0,011	5,4	2,6
(4)	65,6	-0,010	4,5	2,0

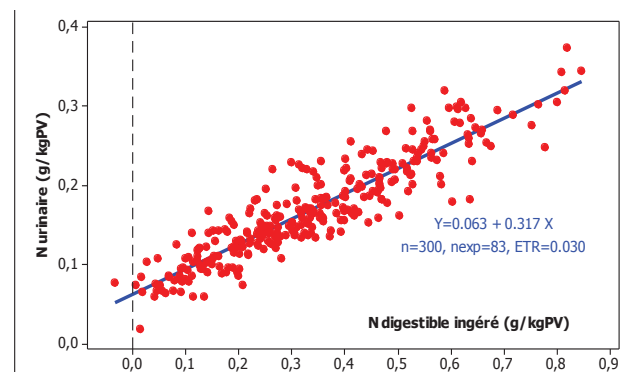


Figure 1 : Relation entre N urinaire et N digestible ingéré (Base URZ, Salah et al., 2014)

Il n'y a pas d'effet espèce dans l'ordonnée à l'origine et dans la pente de cette relation qui est donc générique. Sur la base Ovidig une approche comparable aboutit aussi à une relation très proche de la [4] :

$$\text{NUR/PV (g/kgPV)} = 0,064 + 0,431 \text{ NDI/PV (g/kgPV)}$$

(ntrt=126, nex p = 41, ETR=0,033).[4']

Au bilan, les équations [3'], [4] et [4'], basées sur des approches et des données différentes, convergent autour de la valeur de 0,067 g NUR/kgPV comme perte azotée urinaire minimale

Cependant, une partie de N urinaire ainsi calculé ne provient pas du renouvellement protéique de l'organisme ou de l'inefficacité des PDI pour les PEF mais aussi des microorganismes du rumen. Si on suppose que 11,6% de N microbien est sous forme non aminé ou non protéique (NNPMic) et que la dr du NNP microbien est de 80% avec un taux de récupération dans les urines de la fraction digestible proche de 85%(Tas et Susenbeth, 2007) on peut faire une estimation de la quantité de NNP des microorganismes du rumen retrouvés dans les urines (NNPMicUR) :

$$\text{NNPMicUR} = \text{Nmic} \times 0,116 \times 0,8 \times 0,85$$

Avec cette hypothèse, le traitement des données de Bovidig aboutit à l'équation curvilinéaire décroissante:

$$\text{NNPMicUR \% NUR} = 33,25 / (1 + ((\text{NUR/PV})/0,203))$$

(n=112, ETR=2.02) [5]

Sur la base de cette équation, lorsque NUR/PV = 0,067 (cf équation [3']) alors NNPMicUR % Nur = 25%. En

conséquence, la perte minimale d'N urinaire à retenir serait $0,067 * (1-0,25) = 0,050$ g Nue/kgPV. Si on suppose une efficacité de 1 pour les besoins PDI associés (la fraction inefficace de ces PDI est déjà incluse dans Nue), on aboutit à une estimation « multi-espèces » du besoin d'entretien lié aux pertes urinaires:

$$\text{PDlentUR(g/j)} = 0,05 * 6,25 / 1 = 0,312 * \text{PV (kg)}$$

3.1.3. Les pertes de protéines par les phanères (PPH)

Ces pertes ne représentent que de l'ordre de 2 à 5% des dépenses azotées non productives. Faute de nouvelles données il a été décidé d'appliquer la valeur de 0,2 g/kg PV^{0,6} proposée par la plupart des systèmes étrangers, et une efficacité de 67% des PDI associés qui sera discutée plus loin.

3.1.4. Comparaison avec les autres systèmes

Les nouvelles hypothèses de calcul des besoins PDI liés aux 3 dépenses non productives aboutissent, par rapport à l'entretien 2007, à des valeurs d'autant plus fortes que le niveau de production est élevé, le rapport entre les deux expressions est en moyenne de 1,5 et peut dépasser 2. Par rapport aux autres systèmes en vigueur, nos propositions sont proches ($\pm 10\%$) des systèmes nord-américains, elles sont légèrement supérieures à celle des systèmes nordiques (Volden, 2011) et hollandais (Van Duinkerken et al., 2011).

3.2. LES REPONSES DES FEMELLES LAITIERES AUX APPORTS PROTEIQUES

3.2.1. Démarche appliquée

Les données

De manière à pouvoir aborder cette question avec des données pertinentes, une sous-base de Bovidig ne comprenant que des essais focalisés sur l'influence quantitative et qualitative des protéines a été extraite et nommée « Bovidig-PDI » (nex p=54 ; ntrt = 140). Pour les chèvres laitières la base « Caprinut » de l'UMR MoSAR a été soumise à une extraction comparable pour aboutir à la sous-base Caprinut-PDI (nex p=33 ; ntrt=103).

Les hypothèses de calcul de l'efficacité des PDI

Les données d'apports alimentaires des bases Bovidig-PDI et Caprinut-PDI ont été calculées selon le modèle des apports systali (Sauvant et Nozière, 2013). Les besoins protéiques d'entretien ou non productifs ont été calculés selon quatre méthodes : La méthode INRA 2007 (Meth.1, cf § 2.1), la méthode décrite plus haut (cf § 3.1.), en supposant que l'efficacité de 67% des PDI attachée aux pertes endogènes fécales et par les phanères est fixe (Meth. 2) ou variable et égale à celle observée pour les protéines du lait (Meth. 3), en intégrant en plus un bilan protéique corporel indexé sur le bilan énergétique (UFL) des animaux à raison de 15 g de protéines par UFL fixée ou mobilisée (Meth. 4). Ces 4 méthodes ont été comparées sur la base de la qualité statistique de la relation de prévision de l'efficacité des PDI en fonction de leur concentration dans le régime :

$$\text{EffPDI} = \text{EffPDI100} * \exp [-b (\text{PDI}-100)]$$

EffPDI100 étant l'efficacité en % correspondant à une ration avec 100 g PDI/kg MS. Notons qu'avec cette approche, la concentration des PDI est un meilleur prédicteur statistique que le rapport PDI/UFL qui varie en fonction du régime et de l'animal avec les calculs systali.

3.2.2. Cas des vaches laitières

Le **tableau 1** indique, pour les 4 hypothèses de calculs évoquées ci-dessus les paramètres de l'équation d'ajustement des données, les valeurs des paramètres EffPDI100, b et les ETR de l'ajustement calculés globalement (ETR global) et en intégrant l'effet expérience (ETR intra).

L'approche 2007 (méthode (1)) aboutit à des valeurs d'effPDI nettement plus faibles, de l'ordre de 10 points, en raison de la faible valeur des dépenses non productives. En outre les valeurs de lbi et des ETR sont les plus élevées.

Les approches systali sont plus précises, surtout celles qui intègrent une efficacité variable des PDI mais identique pour les protéines du lait et l'endogène fécal (méthodes 3 et 4 vs 2) et qui prennent en compte les variations des protéines corporelles (méthode 4 vs 3). La **figure 2** montre la relation obtenue avec la méthode (4). Des allures décroissantes assez comparables de réponse de l'efficacité des protéines métabolisables en fonction de l'apport ont été proposées dans les systèmes NorFor (Volden, 2011) et hollandais (Van Duinkerken et al., 2011).

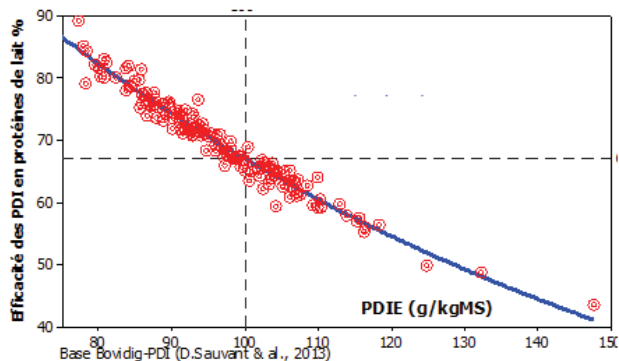


Figure 2 : Influence de la concentration en PDI du régime sur l'efficacité des PDI pour le lait et les autres fonctions de protéosynthèse (méthode de calcul (4))

Le principal facteur interférent de cette relation est le bilan d'énergie calculé en UFL/j (BiUFL) à partir des données mesurées de digestibilité de la MO. La relation linéaire entre les écarts à l'équation (incluant l'effet expérience) de la méthode (4) s'applique en intra-expérience mais est aussi valable en inter et globalement, soulignant ainsi son caractère générique.

Écarts = 1.60 – 0.79 BiUFL (ntrt=138, nexp=54, , ETR=1,5)
De ce fait, lorsque le bilan UFL est équilibré, l'équation de la méthode (4) prend la valeur EffPDI100 = 67%. En conséquence l'équation sommative applicable est :
EffPDI = 67 * exp [-0,01 (PDI-100)] – 0,79 BiUFL

Ces différentes relations ont été confirmées récemment sur d'autres ensembles plus vastes de données traitées de façon comparable (Base « Rico », Faverdin et al. et base « Mosarco » Daniel et al., notes internes systali). A ces occasions, d'autres critères interférents ont pu être testés. En outre ces bases permettent de s'interroger sur d'éventuelles relations entre le niveau d'apport PDI d'un régime et les variations du profil en acides aminés de ces PDI. Au-delà de l'influence du bilan UFL, les interactions PDI-UFL méritent d'être approfondies au niveau des réponses laitières car elles sont significatives et indiquent ainsi que ces réponses aux PDI dépendent du niveau d'énergie dans la ration, cet aspect a été observé dans deux expériences publiées (Brun-Lafleur et al., 2010, Rius et al., 2010), il a également été quantifié à partir de la base Mosarco évoquée ci-dessus (Daniel et al., soumis).

3.2.3. Cas des chèvres laitières

Avec la base Caprinut-PDI, la hiérarchie entre les 4 méthodes de calcul est comparable à celle des vaches laitières et l'équation obtenue est quasi identique avec EffPDI100 = 67.0, b = -0.010 et ETRintra = 3.7. Il y a également une influence significative et négative du bilan d'énergie si bien qu'on aboutit à l'équation sommative suivante :

EffPDI = 67 * exp [-0.01 (PDI-100)] – 8,5 BiUFL

4. DISCUSSION

L'emploi de larges bases de données expérimentales a permis d'obtenir des relations robustes et précises pour quantifier par une approche factorielle les besoins non productifs des ruminants. Ces valeurs ont permis de calculer les réponses de l'efficacité de la production des protéines. Le principe d'adopter une efficacité variable des PDI en fonction du niveau d'apport mais une valeur unique de l'efficacité des PDI pour toutes les synthèses corporelles est nouveau et apporte une meilleure précision de prédiction. Ce principe sera vraisemblablement adopté sur le continent nord-américain (Lapierre et al., 2014). D'autre part, la fraction inefficace des PDI peut être combinée aux valeurs BalProRu du régime (Sauvant et Nozière, 2013) pour prévoir avec une bonne précision, les flux d'excrétion d'N urinaire (non publié). Toutes ces données seront mises en cohérence avec des aspects touchant les acides aminés essentiels

CONCLUSION

Ce travail a permis d'actualiser les besoins protéiques d'entretien et non productifs des ruminants qui sont désormais plus élevés que les besoins d'entretien précédemment appliqués. Il a d'autre part permis de calculer des lois de réponses de l'efficacité des PDI pour l'ensemble des fonctions de protéosynthèse, en particulier le lait.

- Brun-Lafleur L., Delaby L., Husson F., Faverdin P., 2010,** J.DairySci. 93 :4128-4143
Fox, D.G., L.O. Tedeschi, T.P. Tylutki, J.B. Russell, M.E. Van Amburgh, L.E. Chase, A.N. Pell and T.R. Overton. 2004. Anim. Feed Sci. Tech. 112: 29-78.
Lapierre H., Doepel L, Pacheco D., Ouellet D., 2014, Proc.25th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, 166-178.
NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, USA, 381p.
NRC, 2006, Nutrient requirements of small ruminants, National Academy Press, Washington, DC, USA, 362p.
Rius A.G., McGilliard M.L., Umberger C.A., Hanigan M.D., 2010, J.Dairy Sci. 93:2034-2043
Salah N., D. Sauvant D., Archimède H., 2014. Animal, 8, pp 1439-1447.
Sauvant D., Nozière P., 2013, INRA Prod.Anim., 26, 327-346
Swanson E.W., 1977, J.Dairy Sci., 60: 1583-1593.
Thomas C., 2004, Feed into milk: a new applied feeding system for Dairy cows. Nottingham University Press.
Van Duinkerken G., Blok M.C., Bannink A., Cone J.W., Dijkstra J., van Vuuren A.M., Tamminga S., 2011. J. Agric. Sci., 149, 351-367.
Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., Peyraud J.L., Poncet C., 1987, Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 70, 19-34.
Volden H., 2011. NorFor - The Nordic feed evaluation system. EAAP Publications No 130, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 180p.
Tas B.M., Susenbeth A., 2007, Livestock Science. 181-192.
Texte