



HAL
open science

Estimation d'une nouvelle méthodologie pour estimer la valeur protéique des aliments à partir de la réponse en matière protéique du lait chez la vache laitière

Florence Dufreneix, Jean-Louis Peyraud, Philippe Faverdin

► To cite this version:

Florence Dufreneix, Jean-Louis Peyraud, Philippe Faverdin. Estimation d'une nouvelle méthodologie pour estimer la valeur protéique des aliments à partir de la réponse en matière protéique du lait chez la vache laitière. 24. Rencontres autour des recherches Ruminants (3R), Institut de l'Élevage (IDELE). FRA., 2018. hal-02735833

HAL Id: hal-02735833

<https://hal.inrae.fr/hal-02735833>

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Estimation d'une nouvelle méthodologie pour estimer la valeur protéique des aliments à partir de la réponse en matière protéique du lait chez la vache laitière

DUFRENEIX F. (1,2), PEYRAUD J.L. (1), FAVERDIN P. (1)

(1) PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 Saint Gilles, France

(2) AGRIAL, 4 rue des Roquemonts, 14000 Caen, France

RESUME – L'objectif de cet essai est de tester une nouvelle méthodologie pour estimer la valeur protéique des aliments basée sur la réponse biologique des matières protéiques (MP) du lait aux apports en protéines métabolisables de la ration. Par rapport aux méthodes classiques, cette méthode peut être appliquée quelle que soit les techniques de protection des protéines appliquées aux aliments (huiles essentielles, tannins végétaux). La prédiction de la valeur protéique d'un aliment testé est réalisée à partir de sa réponse en MP en considérant deux traitements contrôles de valeur protéique connue. Cette réponse n'est pas linéaire du fait que l'efficacité d'utilisation des protéines métabolisables décroît lorsque les apports augmentent. Nous avons supposé que, dans la zone de variation des apports testée, la décroissance de l'efficacité est linéaire. Pour développer la méthode, quatre traitements alimentaires isoénergétiques, définis par leurs apports protéiques croissants, ont été appliqués en carré latin pendant quatre périodes de trois semaines à 24 vaches laitières divisées en 6 groupes homogènes de 4 vaches. Les deux traitements contrôles contiennent soit 4,4 kg MS de concentré énergétique (Contrôle Bas (CB), 97 g PDIE/kg MS), soit 3,6 kg MS de tourteaux de soja (Contrôle Haut (CH), 252 g PDIE/kg MS). Les deux traitements intermédiaires, constitués d'un mélange de ces deux aliments (Medium Bas : MB et Medium Haut : MH), ont été utilisés pour estimer leur valeur en protéines métabolisables à partir de leur réponse en MP. L'accroissement des apports de protéines métabolisables a augmenté la production de MP (896 et 964 g/j pour CB et CH respectivement). L'estimation de la valeur protéique de MB et MH à partir de leur réponse en MP est proche des valeurs calculées avec INRA (2007), mais présente une légère surestimation de respectivement +14 et + 17 g PDIE/kg MS. Ce biais peut être expliqué par le positionnement du régime CH dans la zone haute de la réponse des MP aux apports ce qui correspond à une efficacité marginale faible. Un ciblage plus précis de la zone maximale de réponse des MP permet d'ailleurs de réduire ce biais à +7 g PDIE/kg MS pour le traitement MB. Cette limite souligne l'importance à apporter à la formulation des régimes contrôles utilisés de façon à bien cibler la gamme de variation maximale de la réponse en MP. Moyennant cette précaution, l'utilisation de la réponse MP est une approche intéressante pour estimer la valeur protéique des aliments et cela quelles que soient les techniques de protection employées.

Estimation of a new methodology to estimate protein feed values from biological milk protein response in dairy cows

DUFRENEIX F. (1,2), PEYRAUD J.L. (1), FAVERDIN P. (1)

(1) PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 Saint Gilles, France

SUMMARY – The aim of this trial is to test a new methodology to estimate feeds protein value based on their milk protein yield (MPY) response to metabolisable proteins supplies in diet. Compared to classical methods, this one could be used whatever the protein protection applied to feeds (essential oils, vegetable tannins). The prediction of the protein value of a tested feed is made from its MPY response using two control treatments of known protein value. This response is not linear because the efficiency of metabolisable proteins decreases as intake increases. We assume that, in the zone of supply variation tested, this decrease in efficiency is linear. To develop the method, four isoenergetic dietary treatments, defined by their increase in protein intake, were applied in a Latin square design of four 3-weeks periods to 24 cows divided in 6 homogenous groups of 4 cows. The two extreme treatments contained either 4.4 kg DM of energy concentrate (Control Low (CL), 97 g PDIE / kg DM) or 3.6 kg DM of soybean meal (Control High (CH), 252 g PDIE / kg DM). The two intermediate treatments, consisting of a mixture of these two feeds (Medium Low: ML and Medium High: MH), were used to estimate their metabolisable protein value from their response in MPY. The increase in protein supply increased MPY production (896 and 964 g/d for CL and CH respectively). The estimated protein value of ML and MH from their MPY response was respectively +14 and +17 g PDIE / kg DM higher than the values calculated with the feed units system INRA (2007). This bias could be explained by CH position, situated in the upper part of MPY response to protein supplies corresponding to a low marginal efficiency. A more precise targeting of the maximum MPY response zone reduced this bias to +7 g PDIE / kg DM for ML. This limitation emphasizes the importance of diets formulation to target well the range of maximal variation of the MPY response. Nevertheless, the use of the MPY response seems to be an interesting approach for estimating the protein value of feeds, regardless of the protective techniques used.

INTRODUCTION

L'augmentation de la proportion de protéines by-pass est un enjeu majeur dans le domaine de la nutrition des vaches laitières hautes productrices pour économiser les ressources en protéines végétales et réduire les rejets azotés vers l'environnement. Pour répondre à cette demande, les experts

de la nutrition animale ont développé depuis de nombreuses années des techniques de protection des aliments protéiques qui reposent soit sur une moindre dégradabilité ruminale par renforcement des liaisons chimiques de l'aliment (réactions de Maillard, tannage), soit sur une action sur l'activité de la flore ruminale.

Pour pouvoir estimer l'efficacité de ces techniques de protection, des méthodes d'estimation de la valeur nutritionnelle des aliments sont utilisées à partir de la mesure de dégradabilité par la méthode des sachets (Orskov and McDonald, 1979) ou de flux de protéines métabolisables (méthodes *in vivo*). Cependant, les méthodes « sachets rumen » ne sont pas exemptes de biais et elles ne sont pas adaptées pour évaluer l'efficacité des nouvelles techniques agissant sur l'activité de la flore ruminale apparaissant sur le marché (huiles essentielles, tannins végétaux) (Benchaar et al., 2008). La méthode basée sur la mesure des flux de protéines au niveau duodénal, nécessite l'utilisation d'animaux porteurs de fistules ruminales et duodénales. Son coût est élevé et elle nécessite un temps important lié à l'expérimentation, ce qui rend cette méthode peu appropriée pour des analyses en routine (Stern et al., 1997). De plus, les résultats sont assez peu précis en raison de la variabilité de la mesure de flux et du faible nombre d'animaux utilisés.

Par ailleurs, les réponses de la production laitière aux apports protéiques commencent à être bien connues. L'augmentation des apports en protéines alimentaires entraînent une augmentation de la production laitière (Macleod et al., 1984; Metcalf et al., 2008) ainsi que des matières protéiques (MP) du lait. La réponse en MP à des apports croissants de protéines est quadratique, avec une diminution de la réponse liée à la diminution de l'efficacité d'utilisation des protéines métabolisables lorsque les apports augmentent (Brun-Lafleur et al., 2010). Si les apports énergétiques sont maintenus constants, on peut considérer que l'augmentation de la sécrétion de MP est le reflet des variations d'apports de protéines métabolisables. En cela, elles constituent la réponse physiologique aux protéines ingérées réellement utilisées par l'animal et ce quelle que soit la technique de protection appliquée aux aliments ingérés ou de stimulation de l'activité microbienne.

L'objectif de cet essai est de déterminer dans quelle mesure la réponse en MP peut être utilisée pour estimer la valeur protéique des aliments et avec quelle précision. Le principe repose sur la réponse en MP observée pour un régime inconnu par comparaison à celle observée entre deux traitements contrôles (haut et bas) de valeur protéique connue. Le calcul est basé sur la décroissance de l'efficacité d'utilisation des protéines métabolisables (Sauvant et al., 2015) qui est supposée linéaire dans cet essai.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. SCHEMA EXPERIMENTAL ET TRAITEMENTS ALIMENTAIRES

24 vaches laitières en milieu de lactation ont été utilisées. Elles sont réparties en 6 blocs de 4 vaches homogènes (selon leur niveau de production laitière et leur parité). Quatre traitements alimentaires sont appliqués à chacun des 6 blocs selon un schéma en carré latin pendant 4 périodes de 3 semaines. Les vaches reçoivent un mélange de base composé de 78% d'ensilage de maïs, 9,5% de luzerne déshydratée, 7,5% de tourteau de soja et 5% de concentré énergétique contenant du minéral. Les quatre traitements expérimentaux isoénergétiques, différant par leur teneur en protéines métabolisables (évaluée par le système PDI ; INRA, 2007), sont ajoutés à ce mélange de base. Les traitements contrôle bas (CB) et contrôle haut (CH) sont composés exclusivement de concentré énergétique et de tourteau de soja respectivement de valeur protéique connue. Les deux traitements intermédiaires, utilisés pour valider la méthodologie d'estimation, sont constitués d'un mélange de ces deux aliments (Medium Bas, MB ; et Medium Haut, MH) (Tableau 1). L'urée est apportée dans l'alimentation pour assurer un apport non limitante d'azote dégradable dans le rumen pour tous les régimes. Les quantités distribuées ont

été limitées à un niveau d'ingestion constant et propre aux besoins de chaque groupe pour contrôler au mieux l'apport d'énergie totale. Les vaches ont été alimentées individuellement et traites deux fois par jour.

Tableau 1 :Quantités distribuées de chaque aliment pour les quatre traitements alimentaires définis par des apports protéiques croissants (CB : Contrôle Bas ; MB : Medium Bas ; MH : Medium Haut ; CH : Contrôle Haut)

| Traitements | Tourteau de soja (kg MS) | Concentré énergétique (kg MS) | Urée (kg MS) | PDIE (g/kg MS) ¹ |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------|
| CB | 0 | 4,4 | 0,28 | 97 |
| MB | 1,2 | 3,0 | 0,18 | 151 |
| MH | 2,4 | 1,5 | 0,09 | 204 |
| CH | 3,6 | 0 | 0 | 252 |

¹ PDIE : Protéines (alimentaires et microbiennes) digestibles dans l'intestin permise par l'énergie de la ration

1.2. MESURES ET ANALYSES

Les refus ont été retirés et pesés chaque matin lorsque les vaches ne consommaient pas toute la ration prévue. Leurs compositions étaient supposées identiques aux régimes distribués pour le calcul des quantités ingérées. La MS (60°C, 48h) de l'ensilage de maïs a été déterminée chaque jour. L'ensemble des aliments a été échantillonné une fois par semaine puis regroupé sur la totalité de l'essai. Ils ont été broyés (grille 0,8mm) et analysés chimiquement. La matière organique a été déterminée par calcination pendant 5h à 550°C dans un four. La concentration en azote a été déterminée par la méthode Dumas sur un appareil Leco (Leco, St Joseph MI). La teneur en fibre (NDF, ADF et ADL) a été mesurée selon Van Soest et al. (1991) sur une unité d'extraction Fibersac (Ankon Technology, Fairport, NY). Les matières grasses ont été mesurées par extraction dans l'éther et l'amidon a été déterminé par polarimétrie (LABOCEA, Ploufragan, France). Les valeurs nutritionnelles des aliments ont été calculées avec INRA (2007).

La production laitière de chaque vache a été mesurée à chaque traite. Les taux ont été mesurés par technique infrarouge deux jours par semaine pendant les deux premières semaines et trois fois la dernière semaine de chaque période, séparément à la traite du matin et du soir (Lillab, Chateaugiron, France).

1.3. ANALYSE STATISTIQUE

Les analyses ont été réalisées sur les deux dernières semaines de chaque période à l'aide de la procédure MIXTE de SAS Entreprise 6.1 :

$$Y_{i,j,k,l} = \mu + P_i + A_{j(i)} + W_k + T_l + e_{ijkl}$$

où $Y_{i,j,k,l}$ est la variable d'étude, μ la moyenne, P_i l'effet de la parité i , $A_{j(i)}$ l'effet aléatoire de l'animal j dans le groupe de parité i , W_k l'effet de la période k , T_l l'effet du traitement alimentaire l et e_{ijkl} l'erreur résiduelle. Les contrastes orthogonaux (linéaire et quadratique) ont été appliqués aux moyennes de chaque variable pour tester la réponse globale. Le seuil de significativité est fixé à $P < 0,05$.

1.4. METHODE DE CALCUL D'ESTIMATION DE LA VALEUR PROTEIQUE

Le principe de la méthode repose sur le lien entre les réponses de production des MP et d'efficacité d'utilisation des PDI lorsque les apports protéiques augmentent. Chez la vache laitière, la réponse curvilinéaire des MP est expliquée par la décroissance de l'efficacité PDI lorsque les apports augmentent (loi des rendements marginaux). Nous avons utilisé deux traitements alimentaires (CB et CH) dont les

valeurs en MP et PDI ingérées sont connues pour estimer la valeur protéique de deux traitements intermédiaires (MB et MH), de valeur PDI ingérées supposée inconnue, à partir de leur réponse en MP.

Les deux traitements contrôles (CB et CH), de valeurs MP et PDI ingérées connues, sont utilisés pour calculer leur efficacité PDI selon l'équation suivante :

$$\text{efficacité PDI} = \text{MP} / \text{PDI ingérées} \quad (1)$$

Puis, en supposant que la relation d'efficacité PDI en fonction des apports protéiques est linéaire entre ces deux traitements, l'efficacité PDI est également obtenue par la relation suivante :

$$\text{efficacité PDI} = a * \text{PDI ingérées} + b \quad (2.1)$$

où a et b sont respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de l'équation de l'efficacité en fonction des apports :

$$a = (\text{efficacité PDI}_{\text{CH}} - \text{efficacité PDI}_{\text{CB}}) / (\text{MP}_{\text{CH}} - \text{MP}_{\text{CB}}) \quad (2.2)$$

$$b = \text{efficacité PDI}_{\text{CB ou CH}} - a * (\text{PDI}_{\text{CB ou CH}}) \quad (2.3)$$

Ces deux relations d'efficacité PDI sont combinées en une seule ((1) = (2.1)) ce qui permet d'obtenir un polynôme du second degré :

$$a * (\text{PDI ingérées})^2 + b * \text{PDI ingérées} + \text{MP} = 0 \quad (3)$$

La réponse en MP des traitements MB ou MH est utilisée dans cette équation dont la solution positive permet d'obtenir une estimation des PDI ingérées pour chacun d'eux.

L'estimation des PDI ingérées obtenue à cette étape correspond à la valeur protéique de la totalité de la ration distribuée (mélange de base + traitement alimentaire MB ou MH). La composition du mélange de base étant connu, sa valeur protéique est calculée directement avec INRA (2007) puis soustraite des apports PDI estimés de façon à obtenir la valeur protéique (en g PDIE/kg MS) des traitements MB et MH.

Enfin, dans le cadre de la méthodologie, les compositions de MB et MH étaient connues. Un calcul des valeurs protéiques de ces deux traitements est réalisé avec INRA (2007) ce qui permet une comparaison entre les valeurs estimées selon la méthode ci-dessus et celles calculées avec INRA (2007).

1.5. ANALYSE D'INCERTITUDE

Une analyse d'incertitude a été réalisée pour étudier l'impact de la variabilité de la réponse des MP sur l'estimation de la valeur protéique des aliments et évaluer les effets du nombre de vaches utilisées sur la précision de la mesure. Pour cela 40 000 données de MP (10 000 pour chaque traitement) ont été générées aléatoirement suivant une distribution normale déterminée à partir de la moyenne et l'écart type obtenus par l'analyse statistique. L'analyse d'incertitude a été réalisée séparément sur 24, 16, 12 et 8 vaches en respectant la répartition en groupe. Les valeurs protéiques des traitements MB et MH ont été estimés comme décrit ci-dessus.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. REPONSES GLOBALES AUX APPORTS EN PROTEINES

Un épisode de canicule est survenu au cours de la dernière période de l'essai ce qui a entraîné des fortes variations dans l'ingestion des animaux et dans leurs réponses laitières. Les analyses ont donc été réalisées uniquement sur les trois premières périodes.

Tableau 2 : Moyennes ajustées de la composition des régimes, de la production laitière et de la composition du lait en fonction des apports croissants en protéine apportés par les traitements alimentaires (CB : Contrôle Bas ; MB : Medium Bas ; MH : Medium Haut ; CH : Contrôle Haut ; MSI : matière sèche ingérée ; PL : production laitière ; TP : taux protéique ; TB : taux butyreux ; MP : matières protéiques ; MG : matières grasses)

| Variables | Traitements | | | | RSD | P-Value |
|------------------------|-------------|------|------|------|-------|---------|
| | CB | MB | MH | CH | | |
| MSI, kg/j | 21,2 | 21,3 | 21,3 | 21,2 | 0,17 | 0,87 |
| Refus, kg MS/j | 1,2 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 0,11 | <0,001 |
| UFL/j ¹ | 18,5 | 18,8 | 18,8 | 19,0 | 0,15 | <0,001 |
| PDIE, g/j ² | 1796 | 2002 | 2146 | 2320 | 16,86 | <0,001 |
| PL, kg/j | 27,8 | 28,9 | 29,1 | 29,5 | 0,60 | <0,001 |
| TP, g/kg | 32,4 | 32,7 | 32,9 | 32,9 | 0,51 | 0,02 |
| TB, g/kg | 40,5 | 39,6 | 39,8 | 39,6 | 0,91 | 0,20 |
| MP, g/j | 896 | 940 | 956 | 964 | 13,71 | <0,001 |
| MG, g/j | 1117 | 1137 | 1154 | 1161 | 20,22 | 0,06 |

¹ UFL : Quantité d'énergie nette disponible pour la production laitière contenue dans 1kg d'orge standard (87% de matière sèche, 2700 kcal d'énergie métabolisable)

² PDIE : Protéines (alimentaires et microbiennes) digestibles dans l'intestin permise par l'énergie de la ration

Les apports en protéines ont augmenté linéairement entre les régimes comme prévu (175 ± 31 g PDIE/j entre chaque traitement). Les quantités consommées sont celles attendues pour les traitements riches en protéines (MH et CH), mais les refus ont été légèrement plus importants pour les traitements à faible teneur en protéines (+0,7 et +0,4 kg MS/j respectivement pour CB et MB comparés à CH et MH; Tableau 2). En conséquence, les apports en énergie ont augmenté légèrement entre les contrôles CB et CH (+0,5 UFL/j). L'accroissement de l'ingestion et des apports énergétiques avec l'accroissement des apports protéiques est un phénomène déjà décrit (Cowan et al., 1981; Rico-Gomez et Faverdin, 2001; Faverdin et al., 2003). Nous avons limité ce phénomène grâce à la distribution en quantités limitées des rations sans pouvoir l'éliminer complètement.

La teneur en matières grasses du lait n'a pas été affectée par le niveau d'apport protéique. La production laitière et le taux protéique ont augmenté linéairement avec les apports en protéines (Tableau 2).

2.2. REPONSE DES MP ET DE L'EFFICIENCE DES PDI AUX APPORTS PROTEIQUES

La figure 1 représente la réponse de l'efficacité d'utilisation des PDI et de la production des MP aux apports protéiques. Les MP ont répondu curvilinéairement aux apports protéiques (P<0,001) avec une amplitude de réponse de 68 g/j entre les deux contrôles CB et CH (Tableau 2). Cette réponse curvilinéaire est liée à la baisse de l'efficacité d'utilisation des PDI (0,50 et 0,42 respectivement pour CB et CH) quand les apports augmentent. L'ordre de grandeur de l'efficacité est cohérent avec les valeurs observées dans la littérature (Vérité and Delaby, 2000; Metcalf et al., 2008).

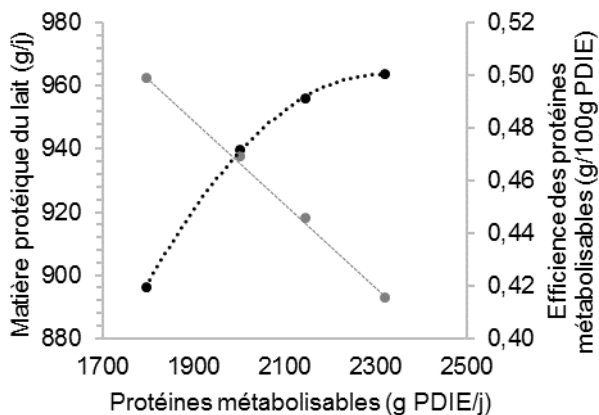


Figure 1 : Réponse des matières protéiques du lait (ligne noire pointillée) et de l'efficacité d'utilisation des protéines métabolisables (points gris) aux apports croissants en protéines. La ligne grise en pointillée représente la relation linéaire entre les contrôles bas et haut (CB et CH).

2.3. ESTIMATION DE LA VALEUR PROTEIQUE A PARTIR DE LA REPONSE DES MP

Compte tenu de ces réponses, l'estimation de la valeur protéique des traitements MB et MH (respectivement 165 et 221 g PDIE/kg MS) montre que la hiérarchie entre les valeurs PDI des deux concentrés a été bien estimée. Néanmoins, une légère surestimation de +14 et +17 g PDIE/kg MS par rapport à la valeur calculée avec INRA (2007) pour les traitements MB et MH (151 et 204 g PDIE/kg MS respectivement) est mise en évidence.

Cette surestimation peut s'expliquer par le fait que le traitement CH se situe dans une zone d'apport PDI élevée et donc dans la zone où les efficacités marginales sont faibles voire nulles. Vérité et Delaby (2000) montrent qu'au-delà d'un rapport PDIE/UFL de 110, la réponse marginale des MP est nulle et ce rapport est de 117 pour CH. Une seconde estimation du traitement MB a donc été réalisée en utilisant CB et MH comme contrôles négatif et positif respectivement. La substitution de CH par MH permet de cibler plus précisément la zone où la réponse des MP est maximale. La nouvelle valeur estimée du traitement MB est alors de 158 g PDIE/kg MS soit un biais de seulement +7 g PDIE/kg MS. Ainsi, la zone de réponse des MP aux apports doit bien être ciblée dans la formulation des régimes pour une estimation la moins biaisée possible de la valeur protéique de l'aliment testé. Si une partie (voir la totalité) des traitements testés est située dans la zone où les MP ne répondent plus que faiblement aux apports (efficacité marginale faible), le risque de biais par rapport à la valeur théorique se trouve augmenté.

2.4. ANALYSE D'INCERTITUDE

L'analyse d'incertitude des MP est présentée sur la Figure 2. Les moyennes et écart-types des estimations de la valeur PDI de MB sont respectivement (en g PDIE/kg MS) : 161±34, 160±37, 165±39 et 152±50 pour 24, 16, 12 et 8 vaches utilisées ce qui représente des biais de respectivement +10, +9, +13 et +1 plus élevée à la valeur théorique. La diminution de l'effectif entraîne un accroissement de l'incertitude dans l'estimation de la valeur protéique de MB. Un effectif inférieur à 12 vaches risque d'entraîner une trop grande variabilité dans la réponse des MP même si le biais est réduit. Cela peut conduire à des situations où l'estimation de la valeur des traitements alimentaires ne pourra pas être réalisée avec une précision suffisante.

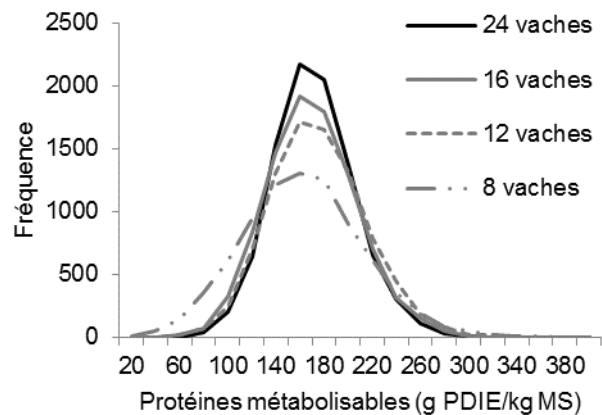


Figure 2 : Distribution de la fréquence des valeurs de protéines métabolisables du traitement MB estimées à partir de l'incertitude des MP sur 24, 16, 12 et 8 vaches (MB : médium bas).

CONCLUSION

L'utilisation de la réponse des MP du lait semble être une approche pertinente pour estimer la valeur protéique des aliments quelle que soit la technique de protection envisagée. Néanmoins, la formulation des régimes et le contrôle des quantités ingérées doivent être réalisés avec soin pour se situer dans la gamme d'apport permettant une bonne sensibilité de la réponse des MP. Par ailleurs, une formulation précise des régimes permet d'éviter les interactions concomitantes des apports énergétiques et de ne pas affecter les synthèses microbiennes par un manque d'azote dégradable.

Cet essai rentre dans le cadre du projet FEADER SOS PROTEIN porté par les régions Bretagne et Pays de la Loire et coordonné par le pôle de compétitivité Valorial

Benchaar C, Calsamiglia S, Chaves AV, Fraser GR, Colombatto D, McAllister TA and Beauchemin KA 2008.

Animal Feed Science and Technology 145, 209–228.

Brun-Lafleur L, Delaby L, Husson F and Faverdin P 2010.

Journal of Dairy Science 93, 4128–4143.

Cowan RT, Reid GW, Greenhalgh JF and Tait CA 1981.

The Journal of Dairy Research 48, 201–212.

Faverdin P, M'hamed D and Vérité R 2003. Animal Science 76, 137–146.

INRA 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Editions Quae, France.

Macleod GK, Grieve DG, McMillan I and Smith GC 1984.

Journal of Dairy Science 67, 1421–1429.

Metcalf JA, Mansbridge RJ, Blake JS, Oldham JD and Newbold JR 2008. Animal 2, 1193–1202.

Orskov ER and McDonald I 1979. Journal of agricultural science 92, 499–503.

Rico-Gomez M and Faverdin P 2001. Renc. Rech. Rum. pp. 285–288. Paris.

Sauvant D, Cantalapiedra-Hijar G, Delaby L, Daniel J-B, Faverdin P and Nozière P 2015. INRA Production Animale 28.

Stern MD, Bach A and Calsamiglia S 1997. Journal of Animal Science 75, 2256–2276.

Van Soest PJ, Robertson JB and Lewis BA 1991. Journal of Dairy Science 74, 3583–3597.

Vérité R and Delaby L 2000. In Annales de zootechnie, pp. 217–230. EDP Sciences.