



HAL
open science

Évaluation de la synthèse microbienne dans le rumen et du système PDI pour prédire les apports protéiques

Daniel Sauvant, Pierre Noziere

► To cite this version:

Daniel Sauvant, Pierre Noziere. Évaluation de la synthèse microbienne dans le rumen et du système PDI pour prédire les apports protéiques. 18. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Dec 2011, Paris, France. pp.113-116. hal-01000237

HAL Id: hal-01000237

<https://hal.science/hal-01000237>

Submitted on 3 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.

Évaluation de la synthèse microbienne dans le rumen et du système PDI pour prédire les apports protéiques

SAUVANT D. (1), NOZIERE P. (2)

(1) INRA-AgroParistech, UMR MoSAR, 16 rue C. Bernard, 75231 Paris Cedex 05

(2) INRA Theix, UR Herbivores, 63122 St Genès Champanelle

RESUME

Une évaluation du système PDI a été entreprise en préalable d'une révision des systèmes d'unités d'alimentation des ruminants dans le cadre du projet INRA-Phase «Systali ». Ainsi, des rations pour différents types de ruminants, issues d'un grand nombre d'expériences de digestion publiées, ont été systématiquement caractérisées à l'aide du système PDI actuel et des « valeurs tables » des aliments. Les écarts entre les valeurs prédites et les valeurs observées ont été explorés en fonction de différents facteurs pratiques.

Certains aspects du système PDI actuel sont satisfaisants. Il s'agit en particulier de la dégradation de l'azote alimentaire prédite à partir des mesures en sachet de nylon des aliments. Il conviendra cependant d'y apporter une correction pour tenir compte de l'azote endogène et du transit, lui même lié au niveau d'ingestion. Par contre, la prévision de la matière organique fermentescible (MOF) est peu précise, elle pourra être améliorée en tenant mieux compte des interactions digestives et de la digestion ruminale de l'amidon. Par ailleurs, l'efficacité moyenne de la synthèse de matières azotées microbienne (145 gMAM/kgMOF) correctement estimée dans le système PDI actuel, est supposée être constante alors qu'elle varie notamment en fonction du transit, des apports de MOF et de protéines.

Enfin, le bilan azoté du rumen, qui résulte de l'équilibre [énergie vs azote] et des flux de [recyclage d'urée vs absorption d'NH₃], semble constituer une variable pertinente pour étendre l'application des PDI aux régimes pauvres et pour mieux le comparer aux systèmes concurrents des autres pays.

Les modifications envisagées seront intégrées dans un modèle simple de la digestion ruminale et permettront d'obtenir un système plus précis et évolutif.

Evaluation of the microbial synthesis in the rumen and of the PDI system to predict protein supplies

SAUVANT D. (1), NOZIERE P. (2)

(1) INRA-AgroParistech, UMR MoSAR, 16 rue C. Bernard, 75231 Paris Cedex 05

(2) INRA Theix, UR Herbivores, 63122 St Genès Champanelle

SUMMARY

An evaluation of the PDI system was undertaken in advance of an updating of feed unit systems for ruminants (project of the INRA-Phase "Systali."). Thus, rations for different types of ruminants, from a large number of experiments published in digestion, have been systematically characterized using the current PDI system and most probable values of food. The differences between predicted and observed values were investigated according to various practical factors.

Some aspects of the PDI system are satisfactory: in particular, the degradation of dietary nitrogen predicted from its disappearance in nylon bags incubated in the rumen. However, a correction must be made to account for endogenous N and transit, which is itself related to the level of intake. In turn, the prediction of fermentable organic matter (FOM) is imprecise, but this can be improved by better taking into account digestive interactions and rumen digestion of starch. On the contrary, the average efficiency of microbial crude protein synthesis (145 gMAM / kgMOF) is correctly estimated in the current PDI system, however, it is assumed to be constant even though it varies greatly depending on transit, the supplies of FOM and protein.

Finally, nitrogen balance in the rumen, which is a result of balance [energy vs nitrogen] and flow [recycling of urea vs uptake of NH₃] appears to be a relevant variable for the extension of the application of PDI to poor diets and for improved comparison of it to competing systems of other countries. The proposed changes will be incorporated into a simple model of rumen digestion and help to obtain a more precise and updatable system.

INTRODUCTION

Le système PDI, utilisé en France et dans d'autres pays, a été créé par l'INRA il y a plus de 30 ans (Jarrige et al., 1978). Il faisait alors figure de précurseur au niveau international, en particulier grâce à ses nouveaux concepts et ses vertus applicatives. Il est actuellement utilisé dans plusieurs pays d'Europe et d'Afrique. Ce système a été révisé dans sa structure en 1988 (INRA, 1988) et pour les valeurs des aliments en 2004 et 2007 (INRA-AFZ, 2004 et INRA, 2007). Ces références décrivent le principe de ce système dans lequel le calcul permet d'estimer les acides aminés réellement absorbés dans l'intestin (les PDI) en fonction de la teneur en protéines brutes (MAT), de la dégradabilité *in sacco* de ces protéines (DTN) et de la synthèse microbienne ruminale, elle-même fonction de l'énergie et des protéines fermentées dans cet organe. Enfin, des coefficients de digestibilité réelle permettent de calculer les valeurs PDI de chaque aliment. Un projet, appelé « Systali », a été lancé à l'INRA pour rénover les systèmes d'unité alimentaires, en particulier les PDI, d'ici 2013. Le but est de les rendre plus précis et d'étendre leur champ d'application (rations

extrêmes, prévision des besoins et réponses...). Cette communication présente quelques unes des modifications envisagées sur les aspects digestifs pour le système PDI.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. METHODE DE TRAVAIL

Les principales étapes de l'utilisation de l'azote dans le rumen sont conservées. Pour chacune d'elles, une base de données a été établie de manière à pouvoir obtenir des relations plus précises et généralisables à différents contextes alimentaires. La base de données, extraite de la base « Bovidig » de l'UMR MoSAR, ne concerne que des essais où la quantité ou la qualité de l'azote étaient les objets d'étude chez des bovins. Elle comprend 100 publications, 151 expériences et 404 traitements. Les expériences devaient présenter des résultats de mesure des flux d'azote au duodénum de manière à pouvoir servir de base de validation des valeurs calculées des PDIA, PDIMN et PDIME à partir des tables.

1.2. CALCULS EFFECTUES

Pour chacun des traitements, les valeurs PDI des rations, et les paramètres associés (DTN), matière organique digestible et fermentescible (MOD et MOF), ont été calculés à partir des tables INRA-AFZ (2002) pour les concentrés et co-produits, et des tables INRA (2007) pour les fourrages. Les teneurs (moyennes \pm écart-types) ont été les suivantes pour les MAT, PDIE, PDIN et PDIA respectivement: 156 ± 41 , $94,4 \pm 18,4$, $104,2 \pm 27,3$ et $46 \pm 17,0$ g/kgMS. Les valeurs extrêmes des teneurs en MAT sont de 23 et 295 g/kgMS. Pour chacun des paramètres, les écarts entre les valeurs calculées à partir des tables, et les valeurs observées, ont été interprétés par méta-analyse en distinguant les effets inter- et intra expériences et en recherchant les principaux facteurs interférents pouvant expliquer les écarts (calculé – observé).

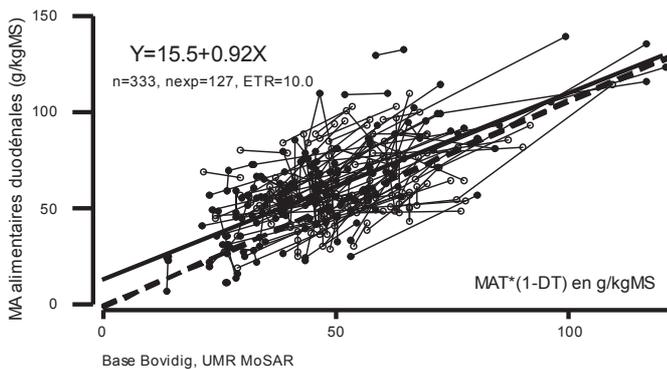
2. RESULTATS

2.1. PREVISION DE L'AZOTE DEGRADE ET « BY-PASS »

L'application des valeurs de dégradabilité *in sacco* de N aliments (DTN) permet de prédire les flux de protéines alimentaires au duodénum (PIA) :

$PIA = a \text{ MAT} \times (1-DTN)$ avec $a = 1,11$ dans le système PDI. La figure 1 montre la relation entre les valeurs PIA mesurées au duodénum, en tenant compte de la fraction protéique microbienne, et prédites par le calcul. Sur les données, la valeur du coefficient a ($1,28 \pm 0,43$) inclut la valeur 1.11 et n'est pas différente de 1. Cependant, la relation intra-expérience est affine ($15,5 \neq 0$) et la pente est alors de 0,92. La relation de la figure 1 peut être améliorée si les valeurs de DTN sont modifiées pour prendre en compte le transit fonction du niveau d'ingestion (actuellement fixé à 6%/h dans le système PDI) ainsi que la fraction d'azote endogène au duodénum. Par contre, les variations inter-publications inexplicables, peut être d'ordre méthodologique, demeurent assez importantes.

Figure 1 : Prédiction de la fraction des matières azotées alimentaires (PIA) des rations à partir des teneurs en MAT et de la DTN des rations (données brutes et relations intra-expérience).

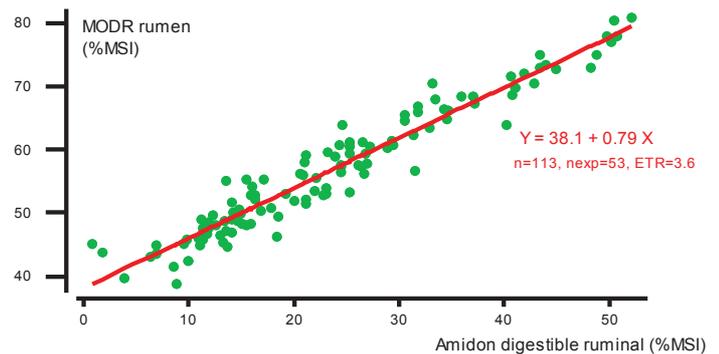


2.2. PREVISION DE LA MO FERMENTESCIBLE

Cette prévision est peu précise : les variations observées de MO réellement dégradée dans le rumen (MODRr) sont plus étendues que les variations prédites par la MOF (environ 40 vs 25%MS) et les variations inter-expériences importantes ne sont pas expliquées. Pour autant, une étude conduite sur l'ensemble de la base Bovidig permet de conclure que le principe du calcul de la MOF (MOD – éléments non fermentés dans le rumen soit: extrait étheré, matières azotés alimentaires ou PIA, amidon alimentaire non digéré dans le rumen et produits volatils des ensilages) n'est pas remis en cause. Cependant, il a été décidé d'ajouter 0,1 fois la fraction NDF digestible aux éléments non fermentés car 90% du NDF digestible est digéré en moyenne

dans le rumen. Par contre, la prévision de certaines des composantes de la MOF est perfectible. Il s'agit d'abord de la prise en compte des effets des interactions digestives (consécutives aux variations du niveau d'ingestion, de la proportion de concentré, de l'amidon by-pass et de l'apport azoté global) sur la teneur en MOD des régimes qui est un déterminant majeur de la MOF. Ces interactions (= non additivité des valeurs nutritives des tables alimentaires) concernent principalement les influences du niveau d'ingestion, de la proportion de concentré (Sauvant et Giger-Reverdin, 2009) et du bilan azoté du rumen (cf plus loin). L'amélioration de la prévision de la MOF passe également par la prévision plus fine des conséquences des variations de la dégradation ruminale des protéines et des différents types d'amidon (figure 2). Ce dernier point concerne donc peu les rations à base majoritairement de fourrages. Cette prévision de la digestion ruminale de l'amidon nécessite la connaissance de sa dégradation *in sacco* DTAM (Offner et Sauvant, 2004). Des valeurs de DTAM ont déjà été proposées pour tous les concentrés et co-produits dans les tables INRA-AFZ (2002).

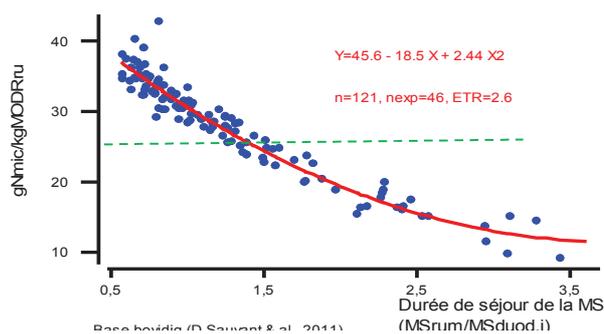
Figure 2 : Influence de la teneur en amidon digestible dans le rumen sur celle de la MO réellement digérée dans cet organe (relation intra-expérience).



2.3. PREVISION DE LA CROISSANCE MICROBIENNE

Dans le système PDI actuel cette croissance, évaluée par les matières azotées microbiennes (MAM) est indexée sur la teneur en MOF du régime (145gMAM/kgMOF). Cette valeur moyenne d'efficacité est proche des propositions faites dans les systèmes utilisés dans les autres pays et de la valeur moyenne observée dans la base de données ($163 \pm 67 \text{gMAM/kgMODRr}$). Cependant, l'étude de son importante variabilité au sein de la base de données retenue, ou sur l'ensemble de la base Bovidig, indique que cette efficacité est significativement influencée par la teneur en MODRr du régime (relation négative), le bilan azoté du rumen (relation positive) et la durée de présence des digesta dans le rumen (= inverse du taux de transit). Ce dernier aspect traduit un comportement de « chémostat » du rumen illustré dans la figure 3. Ainsi, un niveau d'ingestion élevé réduit le temps de séjour des digesta et améliore l'efficacité microbienne. Dans le but de disposer d'un système PDI plus précis il conviendrait de tenir compte de ces causes de variations significatives.

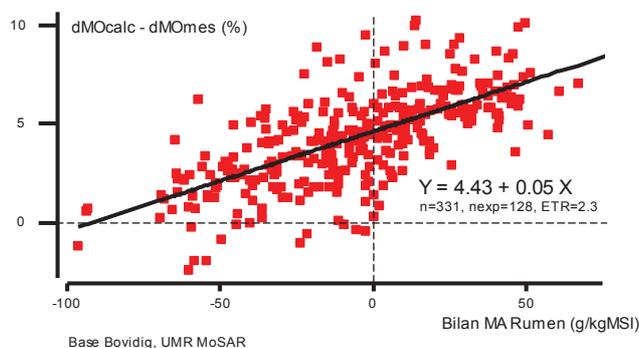
Figure 3 : Influence, en intra-expérience, de la durée de séjour de la matière sèche des digesta dans le rumen sur l'efficacité de la croissance microbienne (en gNmicrobien/kgMOD réellement digérée dans le rumen)



2.4. ROLE DU BILAN AZOTE DU RUMEN

Le bilan azoté du rumen [flux de MA non ammoniacale au duodénum – flux de MAT ingéré, g/kg MSI], qui résulte des flux d'échange [recyclage d'urée - absorption d'NH₃] ainsi que de l'équilibre [énergie vs azote] des apports alimentaires pour les microbes, semble constituer une variable pertinente pour étendre l'application des PDI aux régimes pauvres en azote. Ce bilan est très lié au rapport Rmic = (PDIN-PDIE)/UF du système PDI actuel et permet donc d'en conserver le principe. Il est en outre très analogue aux critères d'équilibre des apports en énergie-azote du rumen des systèmes comparables des autres pays (NRC, 2001 ; NorFor, 2011...). Dans la base considérée pour cette étude, le bilan azoté du rumen varie d'environ +60 g/kg MSI (régime très carencé en azote, recyclage dominant) à -60 g/kgMSI (régime très excédentaire en azote, gâchis dominant). Cette étendue de valeurs permet d'envisager d'appliquer la nouvelle version du système à des régimes carencés en azote pour les microbes, ce qui n'est pas prévu avec le système actuel. Pour cela il faut disposer de réponses digestives précises aux variations du bilan azoté du rumen. Ce bilan azoté du rumen influence significativement et négativement les teneurs en MOD et MODRr des régimes ainsi que la teneur en NH₃ du jus de rumen et les rejets azotés urinaires. Par contre, ce bilan est positivement lié à l'efficacité de la croissance microbienne ainsi qu'à la différence dMOcalculée avec les tables-dMOmesurée in vivo. La figure 4 illustre cette dernière relation qui traduit des effets d'interaction digestive importants, et montre que la dMO potentielle des rations est approchée pour des régimes à bilan azoté ruminal négatif c'est-à-dire largement pourvus en azote

Figure 4 : Influence des variations du bilan des MA dans le rumen sur la différence dMOcalculée-dMOmesurée des régimes (relation intra-expérience).



3. DISCUSSION

Cette approche a permis d'effectuer une évaluation originale du système de calcul des apports PDI. Compte tenu de la construction des systèmes analogues utilisés dans les autres pays on peut penser qu'ils présentent des limites assez comparables

Ces résultats montrent que le système PDI actuel permet d'aboutir à des évaluations correctes des fractions dégradées et by-pass de l'azote des aliments et des rations. Le calcul des apports PIA ne semble donc pas nécessiter de modifications importantes mais pourra intégrer l'effet du niveau d'alimentation sur le transit des particules ainsi qu'une fraction endogène..

Par contre, les résultats de l'évaluation du système actuel sont moins satisfaisants pour la prévision de la MOF et de la croissance microbienne. Nos résultats permettent d'envisager des améliorations du système: sans en changer les principes pour les aliments, le calcul de la MOF de la ration pourra prendre en compte les effets du niveau d'alimentation, de la proportion de concentré et du bilan azoté du rumen sur la MOD, ainsi que la partition de la digestion de l'amidon entre rumen et intestins ; pour la croissance microbienne, sans remettre en cause le principe d'une efficacité de la croissance indexée sur la MOF, le calcul de l'efficacité de croissance microbienne pour la ration pourra intégrer les effets du niveau de MOF, du bilan azoté du rumen, et du transit.

Ces modifications seront à tester sur différents types de ration, en outre il conviendra de modifier les besoins et les réponses animales en conséquence.

Ces calculs rénovés des paramètres permettant d'estimer les apports de la ration dans le système PDI, en particulier de la MOF et de l'efficacité de synthèse microbienne, permettront également une prédiction plus cohérente et plus précise des flux d'acides gras volatils et gaz produits dans le rumen (Nozière et al, 2011).

D'autre part, un travail similaire, réalisé sur une base de données digestion sur les petits ruminants, conduit à des relations tout a fait comparables, et montre que les modifications proposées pourront s'appliquer également aux petits ruminants.

CONCLUSION

Ce travail a permis d'identifier les limites du système actuel pour évaluer les apports PDI des rations et de proposer des relations permettant de l'améliorer. L'ensemble des relations observées sera intégré dans un modèle simple de la digestion ruminale au sein de INRation ; cela permettra d'obtenir, pour l'ensemble des ruminants concernés par les systèmes d'alimentation, un système plus précis et plus évolutif applicable à une plus grande diversité de régimes.

Jarrige R. et 16 coll., 1978. L'Alimentation des Ruminants, INRA Ed.

INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage, INRA Ed.

INRA, 1988. Alimentation des ruminants, INRA Ed. idem

INRA, 2007. Alimentation des bovins,ovins et caprins, Ed. Quae

Nozière P., Glasser F, et Sauvant D., 2011. Animal 5, 403-414.

NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Ed. National Academy Press, Washington, DC.

NorFor, The Nordic feed evaluation system, 2011. Ed. H. Volden, EAAP publ. No 130.
Offner A., et Sauvant D., 2004. Anim. Feed. Sci. Technol., 111, 41-56.

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