

Influence de la digestion dans le rumen sur la composition des produits

D.SAUVANT(1), O.MARTIN(1), V.BERTHELOT(1), D.MERTENS(2)

(1) UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris - France

(2) US Dairy Forage Research Center - 1925 Linden Drive West Madison, WI 53706-1108 - USA

RESUME - Un travail de bibliographie quantitative a été développé pour étudier les relations existantes entre certaines caractéristiques de composition des produits animaux et les processus digestifs du réticulo rumen. Les variations explicatives les plus pertinentes sont le rapport acétate/propionate, la teneur en ammoniacque du jus du rumen, la synthèse microbienne et le métabolisme lipidique du rumen. Les paramètres concernés sont les teneurs en matières grasses, protéiques et uréiques du lait et les compositions en acides gras du lait et du tissu adipeux. La précision des régressions explicatives est souvent meilleure à partir des caractéristiques du rumen que celles du régime. Les principales équations obtenues sont regroupées au sein d'un utilitaire destiné à évaluer l'impact de la ration ingérée sur la composition des produits des ruminants.

Influence of digestion in the rumen on the composition of products

D.SAUVANT(1), O.MARTIN(1), V.BERTHELOT(1), D.MERTENS(2)

(1) UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris - France

SUMMARY - A quantitative analysis of the literature was performed to study the relationships between the composition of some products and the digestive processes in the reticulo rumen. The most relevant explicative variations were the acetate/propionate ratio, the ammonia content of rumen juice, the microbial growth and the lipid metabolism of the rumen. The concerned parameters were the milk fat, protein and urea contents, and the fatty acid composition of milk fat and adipose tissue. The accuracy of the regressions was often better from the rumen parameters than the diet ones. The main equations are pooled into an utility aimed to predict the impact of diet on rumen digestion and product composition.

INTRODUCTION

La composition des produits des ruminants dépend en particulier de leur alimentation. Il importe donc de mieux comprendre comment ces relations s'élaborent au sein de l'organisme pour envisager des voies de contrôle et élaborer des modèles de réponse utilisables. Sauvant et Martin (2000) ont proposé une modélisation multicritère permettant de prédire les caractéristiques digestives des bovins à partir des caractéristiques du régime. Le travail présenté complète le précédent en étudiant l'influence de la digestion dans le réticulo rumen sur la composition des produits. Les modèles empiriques obtenus sont intégrés dans un utilitaire qui sera destiné aux usagers.

1. MATERIEL ET METHODES

Les résultats rapportés ont été conduits sur trois bases de données bibliographiques focalisées sur la digestion et la nutrition des bovins (Sauvant et Mertens, np), sur la digestion et la composition des tissus adipeux des ovins en croissance (Berthelot et al., np) et sur la digestion des lipides chez les bovins (Sauvant et Bas, np). Ces bases ont été interprétées statistiquement en privilégiant l'étude des variables 2 à 2 et en tenant compte des variations inter et intra expérience. Toutes les équations indiquées ont été calculées en intra-expérience à l'aide de la procédure GLM. Chaque observation correspond à un lot de 3 à 15 animaux, le nombre d'expériences (nexp) prises en compte dans les ajustements est indiqué. L'utilitaire est réalisé par la programmation d'une interface graphique en langage VBA développée sur une « macro » Excel.

2. RÉSULTATS

Le rumen digère l'ensemble des constituants de la ration ingérée grâce aux microorganismes qu'il abrite. L'état « métabolique » de cet écosystème a été fréquemment mesuré dans la littérature, par l'intermédiaire de critères physico chimiques. Quatre aspects relatifs à cet état ont été sélectionnés pour être étudiés: les statuts énergétique, lipidique, azoté et l'efficacité de la croissance microbienne.

2.1. L'ÉTAT MÉTABOLIQUE ÉNERGÉTIQUE DU RUMEN

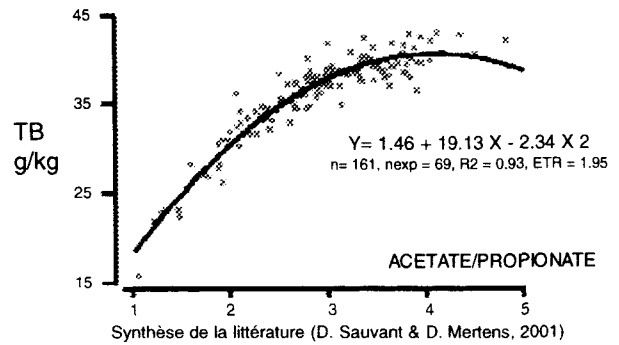
Ce paramètre important peut s'évaluer à partir du « profil » des proportions molaires des acides gras volatils, ou AGV (Sauvant & Van Milgen, 1995). En effet, le rapport acétate/propionate, ou A/P, tend à traduire un état de carence énergétique des microbes lorsque sa valeur est supérieure à environ 3,0 et un excès pour des valeurs inférieures à cette valeur. Ce paramètre s'est avéré meilleur prédicteur des variations de la composition de la ration étudiées que le pH et la teneur en AGV du jus. Pour s'assurer que les variations intra expérience affectent l'état énergétique du rumen, seuls les essais mesurant la production laitière, le TB du lait, les AGV du rumen et ayant comme paramètre expérimental la proportion de concentré, ou de NDF, dans le régime sont sélectionnés. Les variations du rapport A/P ($2,91 \pm 0,73$) expliquent celles du TB ($35,8 \pm 5,6$ g/kg) du lait selon une relation curvilinéaire (figure 1):

$$TB = 1,46 + 19,13 A/P - 2,34 (A/P)^2$$

$$(n = 162, nexp = 69, R^2 = 0,93, etr = 1,95 \text{ g/kg})$$

La constante n'est pas significativement différente de zéro. L'écart type inter expérience de l'ajustement est de 7,6 g/kg. Ces variations entre expérimentations ne sont ni liées à des caractéristiques de la ration ni à des niveaux d'ingestion et de production des animaux.

Figure 1
Relation intra expérience entre le TB du lait
et le rapport acétate/propionate du rumen



Pour les mêmes données et le même critère expliqué, les valeurs de l'écart type résiduel, ou etr, sont moins bonnes pour le pH (2,19) et les meilleures caractéristiques du régime : 2,51 g/kg pour le concentré (%MS) et 2,38 g/kg pour le NDF (%MS). Dans un domaine proche, nous avons présenté une relation entre le rapport TB/TP du lait et le pH du rumen (Sauvant, 1999).

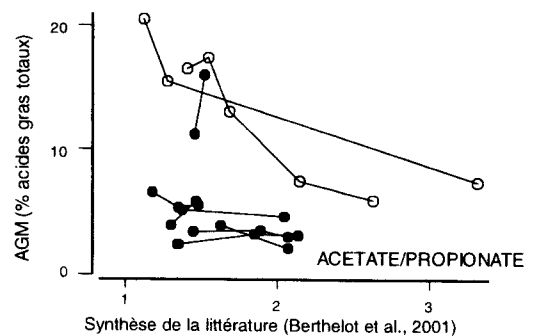
Dans un domaine très différent du précédent, le cas des agneaux en croissance, la base de données est constituée d'essais ayant mesuré à la fois le statut énergétique du rumen et la teneur en acides gras mineurs (AGM) i.e. en acides gras impairs et ramifiés du tissu adipeux sous-cutané de carcasse d'agneaux. Cette teneur en AGM ($7,79 \pm 5,23$ % des acides gras totaux) dépend linéairement du rapport A/P du rumen (figure 2):

$$AGM \% = 15,56 - 4,99 A/P$$

$$(n = 26, nexp = 9, R^2 = 0,88, etr = 2,31 \%)$$

L'écart type entre essais est de 6,35. Il faut noter que, dans cette base, les variations entre essais sont largement expliquées par un effet « équipe » significatif sur la composition en acides gras des tissus sous-cutanés. L'équipe irlandaise (● dans la figure 2) rapporte des teneurs en AGM plus faibles que l'équipe anglaise (○ dans la figure 2, Duncan et coll., 1972). Ceci pourrait être lié à l'utilisation de races ou à des sites de prélèvements différents, voire à un degré de maturité des agneaux différent à l'abattage.

Figure 2
Relation entre la teneur en acides gras mineurs
du tissu adipeux sous-cutané d'agneaux
et le rapport acétate/propionate du rumen



Ce critère expliqué présente une signification vis à vis de la qualité des carcasses d'agneaux. En effet, l'augmentation de la teneur en AGM serait impliquée dans l'apparition d'un défaut de présentation des carcasses d'agneaux nourris avec des régimes riches en énergie, à savoir l'apparition de tissu adipeux mou responsable de l'exclusion de ces carcasses de filières de qualité (Duncan et al., 1972; Bas et al., 1998).

2.2. LE MÉTABOLISME LIPIDIQUE DU RUMEN.

Le rumen modifie sensiblement le profil des acides gras longs ingérés en raison des phénomènes d'hydrogénation et d'isomérisation par les microbes (Sauvant & Bas 2001). Par con-

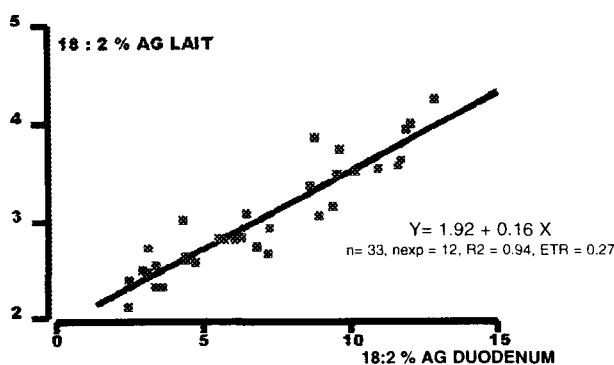
tre, au delà de cet organe, les modifications digestives sont faibles. En conséquence, des relations peuvent être établies entre le profil des AG au niveau du duodénum et ceux de la matière grasse du lait. La figure 3 montre ainsi que le pourcentage de 18:2 dans les lipides du lait ($L18:2 = 3,08 \pm 0,85\%$) dépend de son pourcentage dans les AG au niveau du duodénum ($D18:2 = 6,94 \pm 3,27\%$) :

$$L18:2 = 1,92 + 0,16 D18:2$$

($n = 33$, $nexp = 12$, $R2 = 0,94$, $etr = 0,27\%$)

La valeur de l'etr est de 0,36 lorsque la prévision est calculée, avec le même modèle statistique, à partir de la teneur en 18:2 des AG des aliments. L'écart type inter expériences de l'ajustement est de 1,12.

Figure 3
Relation intra expérience entre les teneurs en acide 18:2 des AG du duodénum et du lait



Synthèse de la littérature (D. Sauvant & P. Bas, 2001)

Des relations significatives de même type existent notamment pour les acides 18:1, 18:1 trans et 18:3. Ces résultats complètent ceux évoqués sur l'influence des lipides du régime sur la composition du lait (Chilliard et al., 2001)

2.3. L'ÉTAT MÉTABOLIQUE AZOTÉ DU RUMEN

Cet état est souvent apprécié par la teneur en NH_3 du jus (151 ± 63 mg N/L). Celle-ci est bien corrélée (figure 4) à la teneur en urée du sang ou du lait ($UR = 242 \pm 87$ mg/L) :

$$UR = 125 + 0,80 NH_3$$

($n = 118$, $nexp = 52$, $R2 = 0,93$, $etr = 30$ mg N/L)

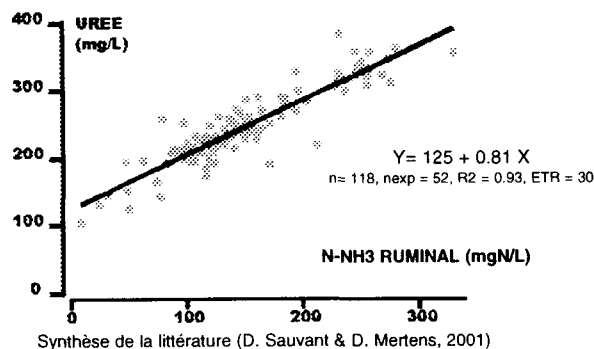
L'écart type inter expériences de cet ajustement est de 109 mg/L. D'autre part lorsque la prédiction est effectuée directement à partir du taux de MAT du régime et à l'aide du même modèle statistique, l'etr est de 20,9 mg/L. Les variations non expliquées par ces deux prédicteurs sont très corrélées ($R = 0,62$). La teneur en NH_3 du jus de rumen est également liée au flux d'N rejeté par la voie urinaire (Nu). Ainsi, sur la base considérée (Sauvant et Mertens, np), la proportion d'N ingéré (Ni) rejetée par cette voie ($Nu/Ni\% = 40,6 \pm 10,8$) peut être prédite par la teneur en NH_3 ruminal (131 ± 78 mgN/L) :

$$Nu/Ni\% = 29,9 + 0,087 NH_3$$

($n = 57$, $nexp = 22$, $R2 = 0,91$, $etr = 4,2\%$)

Lorsque ce critère est prédit directement, avec le même modèle statistique, par la teneur en MAT de la ration la valeur de l'etr est de 4,5 %. L'écart type inter expérience de l'ajustement est de 14,9 %.

Figure 4
Relation intra expérience entre les teneurs en $N-NH_3$ ruminal et en urée du sang ou du lait



Synthèse de la littérature (D. Sauvant & D. Mertens, 2001)

2.4. LA PROLIFÉRATION DES MICROBES DU RUMEN

Ce phénomène est important vis à vis de la fourniture en acides aminés essentiels (AAE) de l'organisme. Le TP du lait ($31,4 \pm 2,7$ g/kg), qui dépend en partie de la disponibilité en AAE, dépend de la teneur en PDIM (PDIME ou PDIMN) de la ration (59 ± 16 g/kg MS), calculée en multipliant par $6,25 \times 0,64$ le flux de N microbien mesuré au duodénum :

$$TP = 27,4 + 0,067 PDIM$$

($n = 83$, $nexp = 34$, $R2 = 0,97$, $etr = 0,62$ g/kg)

Une relation très comparable avait déjà été proposée par Sauvant et Mertens (1998). Il est intéressant de constater que la prise en compte de l'état énergétique du rumen, apprécié par le rapport A/P, améliore de façon significative cette régression :

$$TP = 30,6 + 0,051 PDIM - 0,80 A/P$$

($n = 76$, $nexp = 31$, $R2 = 0,98$, $etr = 0,54$ g/kg)

Les signes des coefficients de régression des PDIM et A/P sont très cohérents puisque aux faibles valeurs de A/P correspondent des disponibilités énergétiques accrues pour la prolifération microbienne. Pour les mêmes données, les valeurs des etr sont moins satisfaisantes lorsque la prédiction est faite à partir des teneurs en aliments concentrés ($etr = 0,73$ g/kg) et en NDF ($etr = 0,74$ g/kg) de la ration.

DISCUSSION

Cette étude fait partie des travaux destinés à comprendre et prédire les réponses des animaux aux variations des régimes. L'opportunité de la prise en compte des « informations intermédiaires » physiologiques pour prédire certaines caractéristiques de composition des produits animaux demeure une question importante. Les résultats présentés indiquent que des indicateurs relatifs à la digestion ruminale sont souvent de meilleurs prédicteurs de la composition des produits que les caractéristiques seules de la ration. Ils confirment le rôle important de cet organe dans la partition métabolique ultérieure des nutriments et dans l'élaboration des réponses aux régimes. Ils soulignent au passage l'intérêt des recherches et des travaux de modélisation sur le fonctionnement du rumen.

Compte tenu du non recouvrement des champs de données disponibles associant la ration au rumen et le rumen au produit, il semble opportun de chercher à établir des modèles de prédiction de la qualité des produits qui intègrent ces deux étapes en tirant ainsi profit d'une base informationnelle plus large. Une limite de ces approches est liée aux variations inter expériences qui sont dans tous les cas importantes et peu, ou pas, expliquées.

Ces ensembles de relations sont en cours d'intégration au sein d'un logiciel qui permettra de prédire les réponses les plus probables des paramètres digestifs et zootechniques aux régimes. Avec ce type de données et d'objectif se pose également la question de l'opportunité d'employer d'autres méthodes de traitement de l'information.

CONCLUSION

Les variations des conditions de la digestion dans le rumen permettent d'expliquer de façon satisfaisante certains aspects importants de la composition des produits des ruminants. La synthèse de ces relations constitue une opportunité pour développer des outils utiles aux personnes impliquées dans l'alimentation de ces animaux.

Bas P., Giral B. and Rouzeau A., 1998. EAAP n° 90, p. 451-455

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

Duncan W.R.H., Orskov E.R. And Garton G..A., 1972. Proc. Nutr. Soc. 31 : 19A-20A

Sauvant D., Van Milgen J., 1995, Prod. Anim, 8, 353-367

Sauvant D., Mertens D., 1998, Renc. Rech. Ruminants, 5, 230.

Sauvant D., 1999. Renc. Rech. Ruminants, 6, 11

Sauvant D., Martin O. 2000. Renc. Rech. Ruminants., 7, 341

Sauvant D., Bas P. 2001, Prod. Anim. Les matières grasses animales (n° spécial, sous presse)