

## Des rations de ruminants aux nutriments transférés par le foie et fournis aux tissus périphériques

ORTIGUES-MARTY I. (1), LONCKE C. (1,4), BAHLOUL L. (1, 4), VERNET J. (1), AI-JAMMAS M. (1), LAPIERRE H.(3) , SAUVANT D. (2), NOZIERE P. (1)

(1) INRA, 1213-Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores, F63122 St Genès Champanelle, France

(2) UMR, 791-Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, INRA-AgroParisTech, 75231 Paris, France

(3) Agriculture et Agri-Food Canada, 2000 rue Collège, Sheerbrooke, QC, J1M 0C8, Canada

(4) avec le soutien de Limagrain et INZO

**RESUME** - Le système INRA d'alimentation des ruminants est en cours de révision dans le but d'élargir son champ d'application. A terme, il pourra aussi s'appuyer sur les concepts de fourniture et utilisation des nutriments par les tissus d'intérêt zootechnique. Les viscères se situent à l'interface entre les nutriments absorbables et les nutriments utilisables par les tissus. Leur métabolisme est intense et leur efficacité énergétique et azotée est faible (63% de l'énergie métabolisable ingérée et moins de 30% de l'azote ingéré sous forme de PDI sont fournis aux tissus périphériques sous forme de nutriments hydrophiles ou d'acides aminés respectivement). En s'appuyant sur la description des rations selon INRA (2007), l'énergie métabolisable ingérée (EMI) peut être décrite par les principaux nutriments absorbés en veine porte. Puis en considérant le métabolisme hépatique des nutriments, des taux marginaux de transfert ont été établis. L'émission post-hépatique des principaux nutriments énergétiques à destination des tissus périphériques peut ainsi être évaluée pour des ingérés allant jusqu'à 89 kcal d'EMI et 0.56 g d'azote ingéré (NI) des PDI par kg de poids vif et par jour. Les prédicteurs utilisés (issus d'INRA (2007) et de l'absorption portale) sont de meilleurs indicateurs de l'apport en nutriments que les profils métaboliques sanguins classiques.

### From rations for ruminants to nutrients transferred by the liver to peripheral tissues

ORTIGUES-MARTY I. (1), LONCKE C. (1,4), BAHLOUL L. (1, 4), VERNET J. (1), AI-JAMMAS M. (1), LAPIERRE H.(3) , SAUVANT D. (2), NOZIERE P. (1)

(1) INRA, 1213-Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores, F63122 St Genès Champanelle, France

**SUMMARY** – The INRA feeding system for Ruminants is presently been revised with the aim of predicting multi-objective responses. Ultimately, it will also include concepts of nutrient supply and use by tissues of economical interest. Viscera are at the interface between absorbable nutrients and nutrients used by tissues. Their metabolism rate is high and their energetic and nitrogenous efficiency is low (63% of metabolisable energy intake and less than 30% of nitrogen intake as PDI is supplied to peripheral tissues as hydro-soluble nutrients or amino acids, respectively). When rations are characterized according to INRA (2007), MEI can be described in terms of nutrients absorbed in the portal vein. When hepatic metabolism of nutrients was considered, marginal transfer rates were established. Post-hepatic emission of the major energetic nutrients supplied to peripheral tissues can then be evaluated for daily intakes up to 89 kcal MEI and 0.56 g NI from PDI. The identified predictors (coming from INRA (2007) and portal absorption) are better indicators of nutrient supply than the classic metabolic blood profiles.

### INTRODUCTION

En alimentation animale, la prise en compte de nouveaux enjeux (efficacité, rejets polluants, qualité des produits, risques santé ...) fait appel à la connaissance de l'utilisation des nutriments par les tissus de l'animal. Dans ce but, des ponts doivent être établis entre d'une part la valeur alimentaire des rations et d'autre part la fourniture de nutriments aux tissus, leur utilisation et leur métabolisme intermédiaire. Dans la suite des travaux de l'INRA qui permettront de caractériser une ration par la quantité et la nature de nutriments absorbables, après avoir tenu compte des interactions digestives et du niveau d'alimentation (Sauvant et Nozière, 2012 et 2013), notre objectif a été de prédire le transfert de nutriments à travers les viscères en vue de leur fourniture aux tissus d'intérêt zootechnique. En effet, le tube digestif et le foie sont le siège d'un important métabolisme des nutriments qui leur permet 1) d'assurer leur besoins propres en nutriments, 2) de néo-synthétiser certains nutriments indispensables et 3) d'éliminer des nutriments en excès. De ce fait, la fourniture de nutriments aux tissus d'intérêt ne suit pas nécessairement des lois d'action de masse, comme cela est supposé dans le système INRA 2007 de prévision des apports. Ce texte résume les principaux acquis sur l'efficacité énergétique et azotée des tissus

splanchniques ainsi que les taux marginaux de transfert de nutriments à travers les viscères.

### 1. BASE DE DONNEES FLORA ET TRAITEMENT DES DONNEES

En préalable, il est rappelé que la paroi du tube digestif est le siège de l'absorption des produits terminaux de la digestion tout en étant irriguée par du sang artériel. Les nutriments absorbés sont transférés vers le sang veineux portal. La veine porte draine aussi l'irrigation sanguine des tissus adipeux mésentériques et omentaux, de la rate et du pancréas. Cet ensemble de tissus constitue les tissus drainés par la veine porte (TDVP). Le sang portal se déverse ensuite dans le foie qui possède une seconde irrigation sanguine, d'origine artérielle via l'artère hépatique. Les nutriments émis par ces viscères, dénommés tissus splanchniques (TS), sont transférés en veine cave, via les veines sus-hépatiques, où ils alimentent ce qui est considéré comme étant le pool corporel de nutriments circulants. Les TDVP et le foie reçoivent ainsi en premier passage des nutriments d'origine alimentaire ou digestive et en deuxième passage des nutriments faisant déjà partie du pool corporel de nutriments circulants. Les dépenses énergétiques des viscères et les flux nets (ou bilans = flux sortants - flux entrants) à travers les

TDVP et le foie, considérés chacun comme des « boîtes noires », ont été mesurés sur animaux multi-cathétérisés. Ils mesurent l'apport marginal de nutriments, notamment hydrophiles, fournis par une ration au pool corporel sanguin (AGV, glucose, L-lactate,  $\beta$ -hydroxybutyrate, urée) ou plasmatique (acides aminés totaux,  $\text{NH}_3$ ). L'ensemble des données publiées sur les flux sanguins de nutriments à travers les viscères chez les ruminants a été regroupé dans la base de données Flora (Vernet et Ortigues-Marty, 2006) avec une caractérisation des rations selon le système INRA (2007) décrite par Loncke (2009). Ces données ont été traitées par méta-analyse (Sauvant et al., 2008). Globalement, il s'agit de données issues d'ovins et bovins à différents stades physiologiques. Les niveaux d'alimentation étudiés s'élevaient jusqu'à 89 kcal EMI /j/kg PV et 0.56 g NI sous forme de PDI/j/kg PV. La composition des rations varie entre 0 et 100 % de concentré, 52 et 186 g MAT/kg MS, 214 et 710 g NDF/kg MS. Ces rations n'incluent aucun additif de type tampons, ionophores, huiles essentielles. Aucune des études considérées ne signalent de maladies métaboliques (acidose, cétose, stéatose).

## 2. EFFICACITE ENERGETIQUE ET AZOTEE DES TISSUS SPLANCHNIQUES

Les dépenses énergétiques élevées des viscères et les grands flux splanchniques d'azote illustrent l'intense métabolisme des nutriments dont ils sont le siège et les forts besoins oxydatifs et azotés de ces tissus (**Tableau 1**). En moyenne les TDVP et le foie contribuent chacun pour 21-22 % aux dépenses énergétiques totales, les contributions les plus élevées étant calculées chez les ruminants en croissance ou en lactation. Ainsi 32 à 41 % de l'EMI est « perdue » au niveau des tissus splanchniques sous forme de chaleur. Ces pertes énergétiques représentent en moyenne 0,4, 0,5, 0,6, et 1,2 fois les besoins énergétiques

d'entretien des animaux non productifs, en gestation, croissance, et lactation respectivement. Ces proportions sont affectées par le niveau d'ingestion et la composition des rations. Les dépenses énergétiques des TDVP sont directement liées à l'EMI et au volume de digesta (Loncke et al., 2009b). Celles du foie (Al-Jammas et al., 2013) varient avec le niveau alimentaire et l'intensité de l'anabolisme hépatique. L'efficacité énergétique des TS est aussi évaluée par la proportion d'EMI émise en post-hépatique sous forme de nutriments. En absence de mobilisation des réserves corporelles, elle est en moyenne de 63%. Chez les ruminants en lactation qui mobilisent leurs réserves, la proportion d'EMI apparemment émise en post-hépatique est plus élevée mais ce calcul inclue les nutriments mobilisés et remaniés par le foie.

De la même manière, la proportion d'azote ingéré récupéré en veine porte puis émis en post-hépatique sous forme d'acides aminés libres totaux renseigne sur l'efficacité azotée globale des TS. En moyenne, seulement 63% de l'azote ingéré sous forme de PDI apparaît dans le sang portal. Le taux de récupération est plus élevé chez les ruminants non productifs probablement en raison d'un effectif plus élevé d'ovins dans les données disponibles. Il a en effet été observé par méta-analyse, que les ovins absorbent plus d'acides aminés que les bovins lait ou viande à même quantité ingérée d'azote ou de PDI (Martineau et al., 2011). Mais si l'on considère l'efficacité azotée globale des TS après avoir pris en compte le prélèvement hépatique, elle est faible, inférieure à 30%. La proportion de l'azote des PDI émis en post-hépatique sous forme d'acides aminés libres est inférieure à 10% voire nulle chez les ruminants non productifs ou à faibles niveaux d'alimentation. Elle monte respectivement à 19 ou 27 % chez les ruminants en croissance ou en lactation recevant des niveaux d'alimentation plus élevés.

**Tableau 1.** Efficacité énergétique et azotée des tissus drainés par la veine porte (TDVP) et du foie selon le stade physiologique des ruminants (moyenne  $\pm$  écart-type de la moyenne). Valeurs tirées de la base de données Flora.

	Croissance Post-Sevrage	Adultes non productifs	Gestation	Lactation
n traitements ovins - bovins	2 - 22	28 - 0	2 - 2	0 - 6
<b>Energie</b>				
Contribution aux DET, %				
TDVP <sup>1</sup>	23,6 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	19,6 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>	17,5 $\pm$ 1,5 <sup>b</sup>	26,4 $\pm$ 1,5 <sup>a</sup>
Foie <sup>1</sup>	21,1 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	17,9 $\pm$ 0,9 <sup>b</sup>	16,4 $\pm$ 2,1 <sup>ab</sup>	29,6 $\pm$ 0,8 <sup>c</sup>
Proportion d'EMI, %				
Oxydée dans TS	0,35 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,41 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	0,32 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	0,34 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
Emise en post-hépatique <sup>2</sup>	0,67 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,61 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	0,61 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>	0,85 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>
<b>Azote</b>				
Proportion d'N des PDII, %				
Emise en veine porte	0,59 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	0,94 $\pm$ 0,59 <sup>b</sup>	0,62 $\pm$ 0,10 <sup>ab</sup>	0,69 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>
Emise en post-hépatique <sup>3</sup>	0,19 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,08 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>	-0,09 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	0,27 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>

a, b, c : P<0.05, DET : dépenses énergétiques totales ; TS : tissus splanchniques ; <sup>1</sup> : calculée à partir de la consommation tissulaire d'oxygène ; <sup>2</sup> : sous forme de nutriments hydrophiles ; <sup>3</sup> : sous forme d'acides aminés libres

## 3. PREDICTION DE L'APPARITION NETTE DES NUTRIMENTS EN VEINE PORTE

La connaissance complète, détaillée et quantitative des caractéristiques des aliments pour ruminants et des phénomènes digestifs a permis d'établir des équations de prédiction de l'apparition nette portale (ANP) des principaux nutriments à partir des quantités ingérées et des caractéristiques des rations décrites selon le système INRA (2007). Ces équations et leurs bases physiologiques ont été décrites en détail par Loncke et al. (2009a), Nozière et al. (2009b) et Martineau et al. (2011). Ces travaux ont montré que l'EMI pouvait ainsi être décrite qualitativement et quantitativement d'après les nutriments apparaissant en veine porte (Loncke et al., 2009c). Ils montrent en particulier que la quantité de matières organiques fermentescibles

ingérée (MOFI) est un prédicteur essentiel de la quantité et de la nature des AGV produits et absorbés en veine porte (Nozière et al., 2009a). La révision en cours du calcul de la MOF (Sauvant et Nozière, 2012 et 2013) confirme la qualité de ces relations.

## 4. PREDICTION DU TRANSFERT DE NUTRIMENTS A TRAVERS LE FOIE

L'étude du transfert des nutriments à travers le foie conduit à classer les nutriments en trois catégories : 1) très peu métabolisés par le foie, 2) fortement captés, et 3) synthétisés et émis en post-hépatique en vue d'une utilisation par les tissus périphériques.

#### 4.1. NUTRIMENTS PEU METABOLISES DANS LE FOIE

Dans la première catégorie figure essentiellement l'acétate qui contribue le plus à l'apport de carbone en veine porte (26% en moyenne). Il est aussi le seul nutriment à n'être quasiment pas métabolisé par le foie en raison sa faible activation hépatique. Le foie peut donc être considéré un peu comme une 'passoire' pour l'acétate portal. Toutefois, l'acétyl-CoA étant un métabolite intermédiaire important associé au cycle de Krebs, de l'acétate est synthétisé notamment à partir des acides gras à chaîne longue et émis par le foie. L'importance quantitative de cette synthèse est faible, 3% de l'ANP de l'acétate en moyenne.

#### 4.2. NUTRIMENTS FORTEMENT METABOLISES DANS LE FOIE

Parmi les nutriments fortement captés par le foie figurent le butyrate, le propionate et les acides aminés libres totaux. Leur transfert hépatique suit des lois d'action de masse. Le butyrate représente en moyenne 4% de l'apport de carbone en veine porte. En moyenne le taux marginal de prélèvement du butyrate par le foie est de  $75 \pm 7\%$  de son ANP, il est d'autant plus important que l'ANP du butyrate est élevée. A l'inverse, il est réduit chez les ruminants en croissance, plus résistant à l'insuline. La majorité du butyrate prélevé est métabolisé par le foie en corps cétoniques, principalement en  $\beta$ -hydroxybutyrate à hauteur de 61% de l'ANP du butyrate (taux marginal), ou oxydé. Le propionate, principal précurseur glucogénique, représente 23% de l'apport de carbone en veine porte. L'efficacité du foie à extraire le propionate est très élevée tant chez les ovins que les bovins avec un taux marginal d'extraction de  $91 \pm 3\%$  de son ANP. Il est utilisé de façon prépondérante pour la synthèse hépatique de glucose, et peut contribuer modestement à la synthèse de L-lactate, glycogène ou à l'oxydation. Le L-lactate, autre précurseur glucogénique représentant 6% de l'apport de carbone en veine porte, peut aussi être considéré dans cette catégorie, même si son taux marginal de prélèvement est en moyenne de 47% associé à une erreur-type élevée ( $\pm 12\%$ ). En effet, le lactate a la particularité d'être à la fois utilisé (principalement en glucose et glycogène) et synthétisé (à partir principalement du propionate) dans le foie. En cas d'utilisation hépatique de lactate, il n'y a pas de formation de glucose à partir de nouvelles chaînes carbonées, mais seulement un recyclage de carbone issu du métabolisme des muscles et des tissus adipeux. Et enfin, les acides aminés libres totaux apparus en veine porte (23% de l'apport de carbone) sont fortement prélevés et captés par le foie. Chaque acide aminé présente un métabolisme spécifique, mais globalement ils sont métabolisés en glucose et corps cétoniques, utilisés pour la synthèse de protéines plasmatiques et d'urée, et ils participent au turnover intense des protéines hépatiques tissulaires. En moyenne leur taux marginal de prélèvement hépatique s'élève à  $73 \pm 7\%$  de leur ANP en carbone. L'ammoniaque est capté en totalité par le foie, avec un taux marginal de prélèvement de  $101 \pm 2\%$  de son ANP. Le foie émet de l'urée dont l'azote provient de l'ANP de l'ammoniaque pour deux tiers et de l'ANP des acides aminés pour un tiers.

#### 4.3. NUTRIMENTS SYNTHETISES PAR LE FOIE

Les nutriments synthétisés par le foie considérés ici sont les corps cétoniques et le glucose. L'émission hépatique de ces nutriments ne suit pas de lois d'action de masse simple mais dépend aussi de l'équilibre entre apport et besoin de nutriments. En l'absence de supplémentation lipidique dans les rations et de mobilisation des réserves adipeuses, la cétogenèse hépatique est pilotée par la disponibilité en précurseurs (principalement le butyrate et les acides gras

longs). Une loi d'action de masse établie à partir de l'ANP du butyrate permet alors de prédire l'émission hépatique de  $\beta$ -hydroxybutyrate. Ce n'est pas le cas lorsque l'apport d'acides gras longs au foie est élevé. En calculant la fourniture hépatique d'acides gras non estérifiés (AGNE) issus de la mobilisation corporelle à partir du bilan énergétique des animaux, Loncke et al. (2009a) ont mis en évidence une relation curvilinéaire entre le bilan énergétique et la cétogenèse qui a l'originalité de s'appliquer à la fois aux bovins et aux ovins tout en étant dépendante du stade physiologique. A même bilan énergétique négatif, la cétogenèse hépatique est plus importante chez les vaches laitières que chez les ruminants (principalement moutons) à jeun. Ainsi un modèle de prédiction a été établi à partir de l'alimentation et de la mobilisation éventuelle des réserves. Dans le jeu de données disponible qui n'inclue aucune situation pathologique avérée de cétose ni de stéatose, la variation d'émission hépatique de  $\beta$ -hydroxybutyrate provient pour 46% de la composante alimentaire, 26% du stade physiologique et 17% du bilan énergétique.

La synthèse hépatique de glucose a longtemps été considérée comme étant proportionnelle à l'EMI et à l'apport total de précurseurs. Toutefois, à EMI constante, elle varie aussi avec les besoins de production. L'originalité des données de flux nets sanguins a permis de quantifier ces deux facteurs. 95% des carbones des molécules précurseurs [propionate, acides aminés et L-lactate (y compris l'alanine et le glycérol issus de la mobilisation corporelle éventuelle)] prélevés par le foie sont convertis en glucose. Cela correspond à un taux marginal moyen de conversion de  $81 \pm 11\%$  du NPA des précurseurs (évalués en unité carbone). La loi d'action de masse ainsi établie explique 80% de la variabilité de l'émission hépatique de glucose et confirme la dépendance très globale de la néoglucogénèse à l'EMI pour un type d'animal donné. Les autres 20% de la variabilité ont pu être attribués aux besoins corporels en glucose lorsque le type d'animal ou le niveau de performances varient. Ils sont évalués d'après l'énergie nette de production des animaux. L'émission post-hépatique de glucose augmente de  $5,2 \pm 2,6$  g glucose/j/kg PV lorsque l'énergie nette de production augmente de 1 Mcal/j/kg PV (Loncke et al., 2010).

## 5. PREDICTION DE LA FOURNITURE POST-HEPATIQUE DE NUTRIMENTS

En combinant les équations de prédiction de l'ANP avec celles du transfert hépatique des nutriments, la fourniture post-hépatique des principaux nutriments peut être prédite à partir des caractéristiques INRA (2007) des rations et des animaux (Tableau 2). S'agit-il de meilleurs indicateurs des variations d'apport en nutriments que les concentrations plasmatiques mesurables dans un profil métabolique sanguin classique? Les variations de concentrations artérielles d'acétate, de propionate et butyrate reflètent bien celles de l'émission post-hépatique ou de l'ANP de ces nutriments mais uniquement en inter-expérience. Pour le  $\beta$ -hydroxybutyrate, elles reflètent les variations de cétogenèse splanchnique en intra- et inter-expérience et pour le glucose de fourniture post-hépatique pour un type d'animal et un niveau de production donnés en intra-expérience. Enfin, les concentrations d'azote-alpha-aminé ou d'acides aminés totaux varient plutôt avec l'utilisation et donc les besoins en acides aminés en inter-expérience. Les profils métaboliques sanguins classiques sont donc loin de refléter de façon simple les variations d'apport post-hépatique de nutriments. Leur interprétation est aussi fortement limitée par la sensibilité et la fidélité des méthodes de dosage de routine.

**Tableau 2.** Prédicteurs INRA (2007) de la fourniture post-hépatique des nutriments hydrophiles majeurs chez les ruminants et incertitudes moyennes de prédiction. Coefficients de corrélation entre fourniture post-hépatique et concentrations artérielles de nutriments en inter- et intra-expérience.

Nutriment	Prédicteur alimentaire	Prédicteur animal	Prédit - observé en % observé	Corrélations avec concentrations artérielles	
				inter	intra
Acétate	MOFI + NDFd/MOF	-	3%	+0,53*	NS
Propionate	MOFI + NDFd/MOF	-	8%	+0,67**	NS
Butyrate	MOFI + NDFd/MOF	-	3%	+0,66**	NS
B-hydroxybutyrate	MOFI + NDFd/MOF	Bilan énergétique	7%	+0,77**	+0,79**
L-lactate	Amidon ingéré digestible dans le rumen	-	20%	NS	NS
Acides aminés	PDIE ingéré	-	10%	-0,25*	NS
Glucose	MOFI + NDFd/MOF+ Amidon digestible ingéré + PDIE Ingéré	Energie nette de production	14%	NS	+0,96*

MOF, MOF(I) : matière organique fermentescible de la ration ou ingérée, NDFd : NDF digestible

## CONCLUSION

L'émission post-hépatique des principaux nutriments énergétiques peut être prédite pour des rations sans additifs. Il reste à déterminer si la faible efficacité énergétique et azotée des viscères est associée à des besoins obligatoires en nutriments ou à un déséquilibre entre apports et besoins de nutriments au niveau de l'organisme entier. Ces modèles couplés aux prédictions des produits terminaux de la digestion et des nutriments absorbables permettront d'affiner les valeurs énergétiques des rations de bovins et ovins à différents stades physiologiques grâce à des prédicteurs compatibles avec le système d'alimentation INRA.

**Al-Jammas, M., Vernet, J., Bahloul, L., Nozière, P., Lapierre, H., Agabriel, J., Ortigues-Marty, I., 2013.** Renc. Rech. Rum. 20 (in press).  
**INRA, 2007.** Alimentation des bovins, ovins et caprins, Quae.  
**Loncke, C., 2009.** Thèse doctorat, AgroParisTech. France.  
**Loncke, C., Nozière, P., Vernet, J., Lapierre, H., Sauvant, D., Ortigues-Marty, I., 2009a.** In CHILLIARD Y. et al. (Editors), Ruminant Physiology. Wageningen Press, Pays-Bas. 444-445.  
**Loncke, C., Ortigues-Marty I., Amblard, S., Vernet, J., Léger, S., Lapierre, H., Sauvant, D., Nozière, P., 2009b.** Joint ADSA®-CSAS-ASAS Meeting  
**Loncke, C., Ortigues-Marty, I., Vernet, J., Lapierre, H., Vermorel, M., Sauvant, D., Nozière, P., 2009c.** In D. SAUVANT et al. (Editors), Modelling Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals. Wageningen Press, Pays-Bas. 233-242.  
**Loncke, C., Nozière, P., Lemosquet, S., Vernet, J., Lapierre, H., Sauvant, D., Ortigues-Marty, I., 2010.** Renc. Rech. Rum. 17. 317.  
**Martineau, R., Sauvant, D., Ouellet, D.R., Côrtes, C., Vernet, J., Ortigues-Marty, I., Lapierre, H., 2011.** J. Dairy Sci., 2986-3001.  
**Nozière, P., Glasser, F., Loncke, C., Ortigues-Marty, I., Vernet, J., Sauvant, D., 2010a.** In Sauvant D. et al. (Editeurs), Modelling Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals. Wageningen Press, Pays-Bas. 158-167.  
**Nozière, P., Ortigues-Marty, I., Loncke, C., Sauvant, D., 2010b.** Animal, 4, 1057-1074.  
**Vernet, J., Ortigues-Marty, I., 2006.** Reprod. Nutr. Dev., 46, 527-546.  
**Sauvant, D., Nozière, P., 2012.** Renc. Rech. Rum.. 19. 181-184.  
**Sauvant, D., Nozière, P., 2013.** Renc. Rech. Rum. 20 (in press).