

Modélisation des épisodes d'acidose sub-clinique et du comportement alimentaire associé : application à la chèvre laitière

DESNOYERS M. (1), GIGER-REVERDIN S. (1), DUVAUX-PONTER C. (1), LEBARBIER E. (2), SAUVANT D. (1)

(1) UMR INRA AgroParisTech physiologie de la nutrition et alimentation - 16 rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05

(2) UMR INRA AgroParisTech mathématique et informatique appliquées - 16 rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05

RESUME - L'acidose sub-clinique est un problème majeur des élevages intensifs de ruminants. Elle est caractérisée par des épisodes de perturbations ponctuelles et brutales d'un état d'équilibre, pendant lequel les animaux ingèrent et produisent, en moyenne, à leur potentiel. Les épisodes d'acidose ont été très peu décrits jusqu'alors. Une expérience a été réalisée sur douze chèvres laitières canulées recevant un régime riche en concentré, afin de mettre en évidence ces épisodes et leurs conséquences sur la production et le comportement des animaux. Pour cela, des mesures quotidiennes d'ingestion et de production ainsi que des mesures en continu d'ingestion, de mastication et de pH ont été réalisées. La modélisation des épisodes d'acidose a permis de montrer qu'ils se caractérisent par une chute brutale de pH ruminal, suivie d'une chute d'ingestion, puis d'une chute de production laitière. La chute de pH ruminal est suivie d'une période pendant laquelle le pH est relativement élevé, puis d'un lent retour à la normale. Ces épisodes peuvent avoir des conséquences sur l'ingestion et la production laitière pendant plus de trois semaines. La modélisation de l'ingestion, grâce au développement d'une méthode d'analyse par segmentation / classification a permis de montrer que les épisodes d'acidose s'accompagnent d'une désorganisation de l'ingestion. En particulier, le temps passé à ingérer rapidement diminue au profit de celui passé à ingérer lentement. L'analyse simultanée des cinétiques d'ingestion, de rumination et de pH ruminal a ensuite montré que cette désorganisation du comportement d'ingestion entraînait une désorganisation du comportement de rumination. Ces phénomènes sont associés à une stabilisation de la cinétique de pH ruminal qui reste toujours au-dessus du seuil de 6,0.

Modelling of acidosis bouts and associated feeding behaviour: application to dairy goats

DESNOYERS M. (1), GIGER-REVERDIN S. (1), DUVAUX-PONTER C. (1), LEBARBIER E. (2), SAUVANT D. (1)

(1) UMR INRA AgroParisTech Physiologie de la Nutrition et Alimentation - 16 rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05

SUMMARY - Subacute ruminal acidosis is one of the major concerns of ruminant nutrition. It is mainly characterised by very quick and severe disturbances of an equilibrium, during which animals eat and produce around their potential. Bouts of acidosis are very rarely described in the literature. An experiment was performed on 12 cannulated dairy goats fed a high concentrate diet in order to describe these bouts of acidosis and their consequences on intake, production and behaviour of the animals. We performed daily measurements of intake and production and continuous measurements of intake, chewing and rumen pH. Modelling these bouts of acidosis showed that a bout of acidosis is characterised by a very quick pH drop, followed successively by intake and milk yield drops. The pH drop is followed by a few days of high rumen pH, which then slowly returns to pre bout acidosis values. Bouts of acidosis can influence intake and milk production during more than three weeks. Modelling intake using a method based on segmentation/classification showed that intake was disrupted during bouts of acidosis. The animals ate less with a high intake rate but more with a low intake rate. Simultaneous analysis of intake, rumination and rumen pH kinetics showed that the disruption of intake behaviour led to a disruption of rumination behaviour. Furthermore, these changes in feeding behaviour led to more stable kinetics of rumen pH, which did not decrease below 6.0.

INTRODUCTION

L'acidose sub-clinique est un problème majeur des élevages intensifs de ruminants qui entraîne des pertes financières non négligeables. Elle résulte principalement de la distribution de rations riches en énergie, en quantité élevée, afin de permettre aux animaux d'exprimer au mieux leur potentiel de production. L'acidose sub-clinique est généralement définie par une valeur de pH moyen ruminal inférieure à 6,25 (Sauvant *et al.*, 1999) ou par le temps passé sous des pH seuils de 6,0 ou 5,8. Les définitions varient cependant selon les auteurs. L'acidose sub-clinique est difficile à détecter en élevage, car elle est principalement caractérisée par une instabilité de l'ingestion, de la production et des paramètres physico-chimiques du rumen, alors que les animaux ingèrent et produisent en moyenne à des niveaux proches de leur potentiel. Cependant, elle se caractérise aussi par des épisodes de perturbations ponctuelles et intenses de tous ces paramètres, qui ont été jusqu'alors peu décrits, car difficiles à étudier. L'objectif de ce travail était de caractériser plus précisément ces épisodes d'acidose, de les modéliser, puis de modéliser le comportement alimentaire associé à ces perturbations.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. ANIMAUX ET INSTALLATIONS

L'étude a porté sur douze chèvres laitières canulées du rumen (Saanen et Alpine). Les chèvres ont été placées en cases individuelles sur caillebotis pendant toute la durée de l'expérience soit onze semaines et a débuté après deux semaines d'habituation au dispositif expérimental. La nourriture était distribuée individuellement, *ad libitum*, sous forme de ration complète (tableau 1) deux fois par jour, après chaque traite, dans les proportions d'un tiers le matin (8 h) et deux tiers l'après midi (16 h), proportionnellement à l'intervalle de temps entre les traites.

1.2. INGESTION, POIDS VIF ET PRODUCTION

Les animaux étaient pesés chaque semaine. Les quantités distribuées et refusées étaient pesées quotidiennement afin de calculer la matière sèche ingérée (MSI), ajustée par kg de poids vif (PV), le pourcentage de matière sèche de la ration étant mesuré chaque semaine. La production laitière brute (PLB) était enregistrée cinq jours par semaine et la composition du lait une fois par semaine.

Tableau 1 : composition et analyse du régime expérimental.

Composition (% MS) :	
Concentré ^a	50
Foin de prairie	35
Pulpe de betteraves	15
Matière sèche (%)	
Energie nette UFL /kg MS	0,91
PDIN g / kg MS	95
PDIE g / kg MS	103
Analyse (% MS)	
NDF	34,7
ADF	15,9
ADL	1,8

^a 25 % blé, 25 % orge, 30 % maïs, 15 % tourteau de soja, 3 % complément minéral vitaminisé et 2 % mélasse.

1.3. DETECTION DES EPISODES D'ACIDOSE

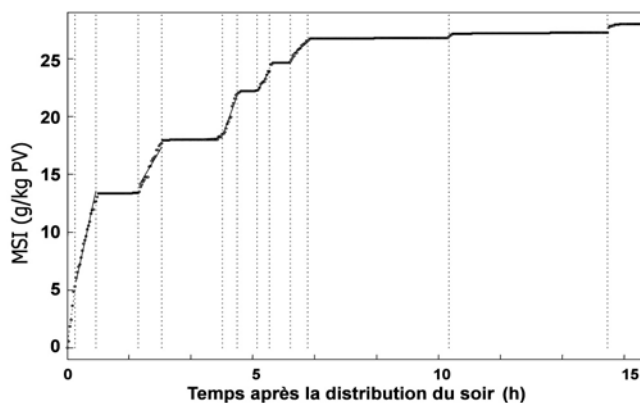
Les épisodes d'acidose ont été déterminés par les variations journalières de MSI, de PLB et les chutes de pH. Pour chaque chèvre, les jours présentant une valeur de MSI ou PLB inférieure à moyenne - 1,5 x écart-type (calculés pour chaque chèvre) ont été repérés. Les jours présentant un pH moyen ruminal inférieur à 6,0 ont également été repérés. Une chèvre a été déclarée en acidose si au moins deux des paramètres précédents étaient repérés simultanément ou successivement pendant au moins deux jours consécutifs. Le jour correspondant à la chute de pH a été noté J0, les valeurs correspondant aux cinq jours précédents et aux vingt jours suivants ce J0 ont été utilisées pour la modélisation. Dix-huit épisodes d'acidose, de durée et d'ampleur variables, ont ainsi été détectés. Suite à des problèmes techniques pour mesurer la mastication et le pH ruminal, seuls huit épisodes disposent de valeurs d'ingestion, de production et de pH ruminal pendant les vingt-cinq jours considérés.

1.4. MESURES EN CONTINU

1.4.1. Cinétiques d'ingestion

Les cinétiques d'ingestion étaient mesurées par douze balances individuelles reliées à un ordinateur enregistrant toutes les deux minutes le poids des bacs d'alimentation. Ces données ont permis de calculer la MSI rapportée au poids vif (g / kg) cumulée entre deux distributions. Une cinétique d'ingestion se caractérise par une succession de segments de pentes variables traduisant des vitesses d'ingestion variables (figure 1).

Figure 1 : exemple de courbe d'ingestion cumulée pendant les 15 h suivant la distribution du soir, après segmentation



Une méthode d'analyse par segmentation / classification a été développée pour analyser ces cinétiques. La méthode de

segmentation est basée sur celle décrite par Picard *et al.* (2005) et utilise un critère de vraisemblance pénalisée (Lavielle, 2005) pour déterminer le meilleur nombre de segments pour chaque cinétique. Les segments obtenus sont ensuite classés selon la valeur de leur pente en huit groupes par une méthode de classification hiérarchique ascendante. Pour chaque cinétique, la durée d'ingestion totale dans chacun des huit groupes et la proportion de matière sèche ingérée dans chacun des groupes, par rapport à la MSI totale, ont été calculées.

1.4.2. Activité masticatoire

Les durées d'ingestion et de rumination ont été mesurées quotidiennement à l'aide d'un appareil portatif pour l'étude du comportement (APEC) (Brun *et al.*, 1984) adapté aux chèvres pour notre expérience. Les données étaient stockées dans un boîtier et déchargées quotidiennement sur un ordinateur. Ces données ont ensuite été analysées par un logiciel spécifique qui permet de classer les mouvements de mâchoire en ingestion, rumination ou repos masticatoire. Il a ainsi été possible de calculer les durées d'ingestion, de rumination et d'inactivité masticatoire par intervalles de deux minutes. L'indice de mastication (ingestion + rumination, min / kg MSI) a été calculé quotidiennement.

1.4.3. pH ruminal

Le pH ruminal était mesuré toutes les minutes par une sonde positionnée dans le rumen et reliée à un boîtier enregistreur. La sonde avait une précision de 0,01 unité pH. Les données étaient déchargées sur un ordinateur portable tous les deux ou trois jours grâce à un logiciel spécifique.

1.5. ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse de l'effet de l'acidose sur les paramètres obtenus par la méthode de classification a été faite grâce au logiciel Minitab suivant le modèle : $Y_i = A + e_i$ où A représente la présence ou l'absence d'acidose pour la cinétique considérée. L'analyse de l'effet de l'acidose sur le comportement alimentaire a été effectuée grâce au logiciel Minitab selon le modèle suivant : $Y_{ij} = a_i + T + A + e_{ij}$ où a_i représente l'effet fixe de la chèvre i, T la covariable temps (en jours), A la covariable acidose (0 = jour sans crise et 1 = jour codé en crise) et e_{ij} correspond à l'erreur résiduelle.

Dans les résultats, n représente le nombre de données utilisées et rmse la racine carrée du carré moyen des erreurs

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. MODELISATION INTER-JOURS DES EPISODES D'ACIDOSE

Un modèle a été construit autour des chutes successives de pH, d'ingestion et de production laitière observées au cours des huit épisodes d'acidose possédant des valeurs pour ces trois paramètres. Un épisode spontané d'acidose se caractérise, tout d'abord (figure 2a), par une chute brutale du pH ruminal, suivie d'une remontée du pH très rapide jusqu'à des valeurs supérieures à 6,5, puis d'un lent retour à la normale. La chute de pH est suivie (figure 2b) de chutes décalées de MSI puis de PLB qui atteignent respectivement leurs minima deux et trois jours après la chute de pH. La remontée du pH à des valeurs supérieures à celles observées avant l'épisode est principalement due à une augmentation de l'indice de mastication lors de la chute d'ingestion (figure 3), ce qui augmente la quantité de substances tampons apportées dans le rumen par la salive.

Les épisodes spontanés d'acidose sont relativement différents des épisodes d'acidose induits par un apport brutal

de glucides dans le rumen. En effet, dans le cas d'épisodes spontanés, la chute de pH est limitée à une journée, alors que dans le cas d'acidose induite, plusieurs jours sont généralement nécessaires pour que le pH retrouve des valeurs similaires à celles observées avant l'induction, et le pH n'augmente pas ensuite jusqu'à des valeurs supérieures à ces dernières (Brown *et al.*, 2000). En outre, la durée de la période de récupération des niveaux d'ingestion et de production apparaît particulièrement longue dans le cas de crises spontanées. Les raisons de ce phénomène seront à préciser au niveau physiologique.

Figure 2 : évolution (a) du pH ruminal et (b) de l'ingestion et de la production laitière. La flèche représente le déclenchement de l'épisode. Les points représentent les valeurs moyennes des huit épisodes, les traits pleins les valeurs ajustées.

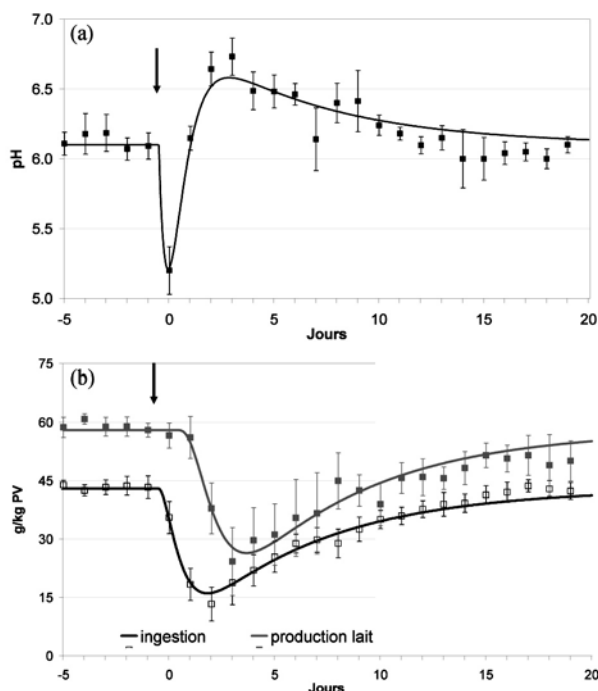
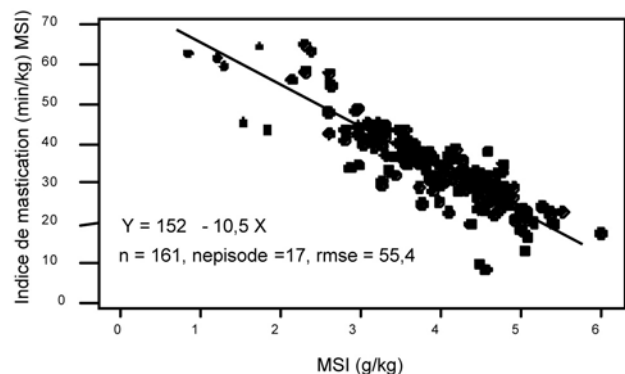


Figure 3 : relation intra chèvre entre l'indice de mastication et la MSI lors des dix-sept épisodes d'acidose pendant lesquels des mesures de l'indice de mastication étaient disponibles.

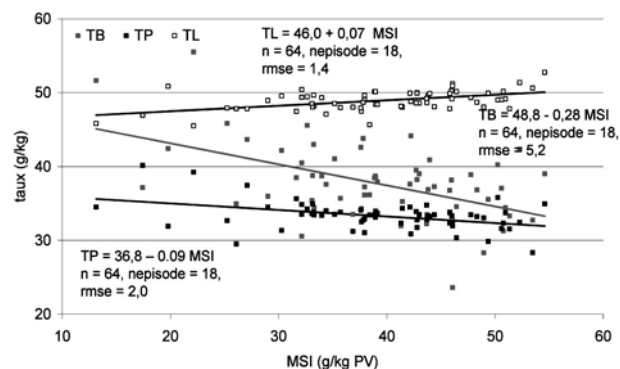


2.2. EFFETS SUR LA COMPOSITION DU LAIT

Les chutes de MSI modélisées ci-dessus s'accompagnent (figure 4) d'une modification de la composition du lait, avec une diminution du taux de lactose (TL), et une augmentation des taux butyreux (TB) et protéique (TP). L'augmentation du TB est contraire aux conséquences généralement décrites de l'acidose (Martin *et al.*, 2006). Les augmentations de TB et de TP résultent principalement d'un phénomène de concentration du lait suite à une diminution du volume de lait produit, car aucune influence n'a été observée sur les quantités totales de matière grasse et matière protéique produites.

La pente supérieure observée pour le TB par rapport au TP traduit une mobilisation des réserves corporelles pendant les épisodes d'acidose.

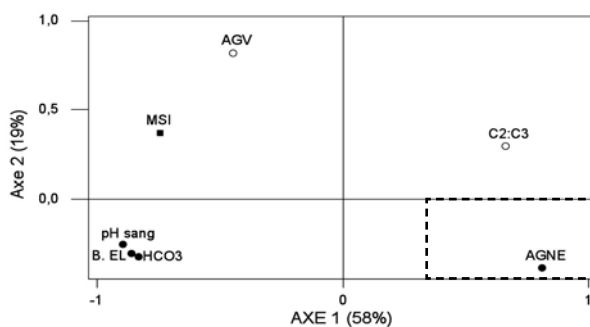
Figure 4 : relation intra chèvre entre composition du lait et MSI lors d'épisodes d'acidose.



2.3. EFFETS PHYSIOLOGIQUES

Une première analyse en composantes principales (ACP-A) a été réalisée, pendant les épisodes d'acidose, sur des paramètres ruminiaux (concentration en acides gras volatils (AGV), rapport acétate / propionate (C2:C3)), sanguins (pH, bilan électrolytique (B.EL), AGNE (acides gras non estérifiés) et bicarbonates (HCO₃)) et la MSI. Les épisodes d'acidose étant principalement caractérisés par une chute d'ingestion, les points représentant des animaux en acidose (rectangle pointillé, figure 5) sont situés dans la partie du plan opposée à la variable MSI.

Figure 5 : corrélations, pendant les épisodes d'acidose, entre les paramètres ruminiaux (○), sanguins (●) et la MSI (■) dans le plan déterminé par les deux premiers axes de l'ACP-A. Le rectangle pointillé représente la partie du plan où se situent les animaux en acidose.



La proportion élevée d'AGNE dans cette partie du plan confirme la mobilisation des réserves corporelles. Les valeurs faibles de la concentration en AGV et les valeurs élevées du rapport acétate / propionate montrent que les épisodes d'acidose s'accompagnent d'un ralentissement des fermentations ruminales. Les valeurs faibles des paramètres sanguins pH, B.El et HCO₃ montrent une faible réserve de bicarbonates sanguins et une acidose métabolique.

2.4. MODIFICATION DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE : ANALYSE INTRA-JOUR

2.4.1. Cinétique d'ingestion

Sur un ensemble de sept cent quatre-vingt-deux cinétiques, obtenues entre la distribution du soir et celle du matin, cinquante-deux l'ont été pendant des épisodes d'acidose. Pendant ces épisodes la MSI a diminué de 29,1 à 21,6 g MSI/kg PV ($P < 0,001$) et la durée d'ingestion rapide (groupes 6 à 8) a diminué au profit des périodes sans ingestion (groupe 1, tableau 2).

Tableau 2 : effet des épisodes d'acidose sur les durées d'ingestion (min) dans chacun des huit groupes de pentes.

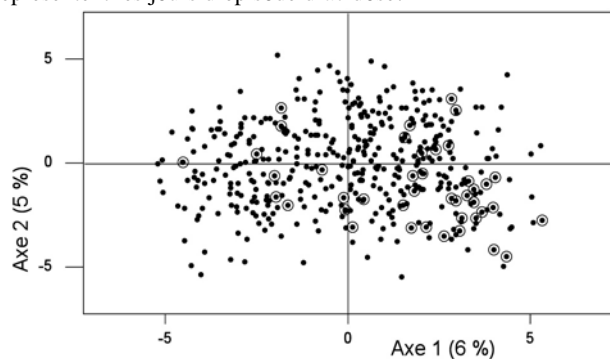
Groupe	Pas d'acidose n = 730	Acidose N = 52	P
1	485	548	0,048
2	174	149	NS
3	104	104	NS
4	30	31	NS
5	59	57	NS
6	48	23	0,001
7	15	10	0,044
8	11	4	0,001

Lorsque les chèvres sont en acidose, la proportion de la ration ingérée de manière très rapide (groupe 8) ou rapide (groupe 6) est diminuée par rapport aux jours où les animaux ne sont pas en acidose (de 14,6 % à 6,5 %, $P = 0,001$ pour le groupe 8 et de 22,7 à 13,6 %, $P = 0,001$ pour le groupe 6). Le comportement d'ingestion des animaux en acidose est donc désorganisé. Les périodes d'ingestion lente sont privilégiées au détriment des périodes d'ingestion rapide.

2.4.2. Activités masticatoires et pH ruminal

Une seconde ACP (ACP-B) a été réalisée sur les durées d'ingestion et de rumination mesurées pendant les quarante-cinq intervalles de vingt min entre la distribution du soir et celle du matin. Quatre cent quarante-deux cinétiques possédaient simultanément des mesures d'ingestion et de rumination. Les points « chèvre x jour » des animaux en acidose sont préférentiellement représentés dans la partie positive de l'axe 1 (horizontal, +1,5 point de coordonnée, $P < 0,001$) et négative de l'axe 2 (vertical, -0,5 point de coordonnée, $P < 0,001$, figure 6).

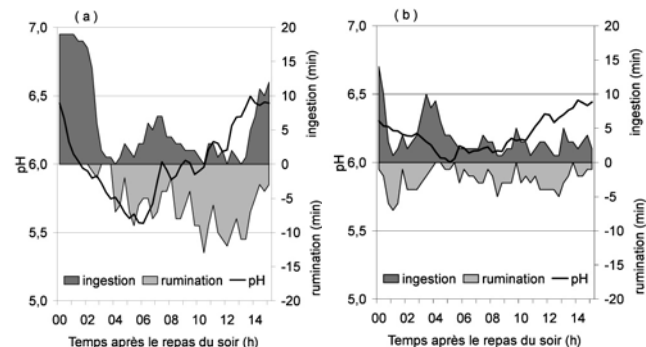
Figure 6 : projection des individus (chèvre x jour) dans le plan formé par les deux premiers axes de l'ACP-B. Les cercles représentent les jours d'épisode d'acidose.



L'analyse des deux groupes formés des 10 % de points extrêmes sur l'axe 1 de l'ACP-B (figure 8) permet de déterminer des formes fortes de comportement alimentaire et les cinétiques de pH ruminal qui leur sont associées (des résultats similaires sont obtenus sur l'axe 2). Les animaux situés dans la partie positive de l'axe 1 (figure 7b, groupe 1+) présentent un comportement alimentaire beaucoup moins organisé que ceux situés dans la partie négative de l'axe 1 (figure 7a, groupe 1-). Ces derniers présentent une grande période d'ingestion consécutive à la distribution, suivie d'une grande période de rumination nocturne. Les animaux en acidose étant situés préférentiellement dans la partie positive de l'axe 1, cela confirme les résultats de l'approche précédente par modélisation des cinétiques d'ingestion. La désorganisation

du comportement d'ingestion lors des épisodes d'acidose entraînerait une désorganisation du comportement de rumination, principalement représentée par l'existence d'une vague précoce, qui semble interrompre le repas, et par une diminution d'intensité de la phase de rumination nocturne.

Figure 7 : représentation, pour les 10 % de points extrêmes sur l'axe 1 de l'ACP-B, des cinétiques d'ingestion et de rumination et du pH ruminal sur les quinze heures suivant la distribution du soir (a) pour le groupe 1- et (b) pour le groupe 1+.



Pour des quantités ingérées similaires ($27,8 \pm 1,09$ et $26,7 \pm 1,36$, respectivement pour les groupes 1+ et 1-) et des pH moyens similaires ($6,2 \pm 0,06$ et $6,1 \pm 0,07$, respectivement pour les groupes 1+ et 1-) sur la période considérée, ces deux types de comportement sont associés à des cinétiques de pH différentes. Les animaux présentant un comportement bien organisé montrent une chute de pH postprandiale plus importante que ceux présentant un comportement moins organisé. La désorganisation du comportement alimentaire permet donc de régulariser le pH ruminal en le maintenant à des valeurs supérieures au seuil de 6,0.

CONCLUSION

Ces résultats confirment que l'acidose sub-clinique se caractérise par des perturbations intenses et ponctuelles d'un état d'équilibre pendant lequel les animaux ingèrent et produisent à leur potentiel. La chute de pH, principal critère de définition de l'acidose dans la littérature, est très brutale et très brève, tandis que les modifications de l'ingestion et de la production peuvent durer plusieurs semaines. Ces perturbations s'accompagnent, non seulement de modifications des paramètres ruminiaux et sanguins, mais également du comportement alimentaire.

Les auteurs remercient Alltech France pour le soutien financier apporté à ce travail.

Brown M.S., Krehbiel C.R., Galyean M.L., Remmenga M.D., Peters J.P., Hibbard B., Robinson J. et Moseley W. M. 2000. *J. Anim. Sci.*, 78,3155-3168

Brun J.P., Prache S. et Béchet G. 1984. *5th european grazing workshop*, 1-8

Lavielle M. 2005. *Signal Process.*, 85,1501-1510

Martin C., Brossard L. et Doreau M. 2006. *Prod. Anim.*, 19,93-108

Picard F., Robin S., Lavielle M., Vaisse C. et Daudin J. 2005. *BMC Bioinformatics*, 6,1-14

Sauvant D., Meschy F. et Mertens D. 1999. *Prod. Anim.*, 12,49-60