

Détermination de nouveaux indicateurs de l'acidose ruminale subaiguë basés sur la cinétique d'évolution du pH ruminal chez la vache laitière

VILLOT C. (1, 2, 3, 4), MEUNIER B. (1), MARTIN C. (1), SILBERBERG M. (1)

(1) INRA, UMR1213 Herbivores, Centre Auvergne-Rhône Alpes, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

(2) Lallemand Animal Nutrition, F-31702 Blagnac, France

(3) Valorex, La Messayais, F-35210 Combournillé, France

(4) Terrena, La Noëlle, F-44150 Ancenis, France.

RESUME

L'acidose ruminale subaiguë (ARSA) est un trouble digestif pouvant être induit par un apport excessif de glucides rapidement fermentescibles (GRF). Son diagnostic reste délicat notamment à cause de l'absence de signes cliniques spécifiques. L'ARSA se caractérise généralement par des chutes anormales et intermittentes du pH ruminal. Toutefois, ce paramètre reste subjectif car fortement dépendant de la variabilité inter-animale. Dans ce contexte, une étude a été conduite afin de proposer de nouveaux indicateurs de l'ARSA basés sur la cinétique individuelle du pH mesuré avec des bolus intra-ruminaux. Le traitement du signal des capteurs et notamment le centrage sur zéro des cinétiques pH, a permis de mettre en évidence des indicateurs basés sur les variations relatives du pH ruminal. Dix vaches primipares ont été suivies durant 12 semaines au cours desquelles 2 régimes ont été distribués en 3 périodes successives : régime contrôle pauvre en GRF (4 semaines), régime acidogène riche en GRF (4 semaines), régime contrôle (3 semaines).

Les cinétiques de pH ruminal ont effectivement montré une forte variabilité inter-individuelle au cours de l'étude et n'ont pas permis de mettre en évidence une diminution significative du pH moyen chez les animaux soumis au régime acidogène alors que les temps passés sous $\text{pH} < 5.8$ et $\text{pH} < 6$ étaient augmentés. La décomposition mathématique des cinétiques de pH a mis en évidence une augmentation significative ($P < 0.05$) de l'amplitude et des variations journalières du pH ruminal. Un allongement significatif des temps passés et des aires sous la courbe (ASC) sous seuils relatifs de $-0,3$ ou $-0,5$ unité pH ont été révélés avec les données centrées sur zéro. Cette étude montre que l'utilisation de tels seuils relatifs permet d'obtenir des indicateurs de risque d'ARSA comparables entre individus en s'affranchissant de la variabilité inter-individuelle du pH ruminal.

Determination of new subacute ruminal acidosis (SARA) indicators based on ruminal pH kinetic in dairy cows

VILLOT C. (1, 2, 3, 4), MEUNIER B. (1), MARTIN C. (1), SILBERBERG M. (1)

(1) INRA, UMR1213 Herbivores, Centre Auvergne-Rhône Alpes, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

SUMMARY

Subacute ruminal acidosis (SARA) is a digestive disorder that can be induced by an excessive intake of rapidly fermentable carbohydrates (RFC). Its diagnosis remains difficult due to the lack of specific clinical signs. SARA is usually characterized by abnormal and intermittent drops in ruminal pH. The high animal variability of ruminal pH leads to inconsistent pH threshold settings to characterize high risk level of SARA in dairy cows. In this context, a study was conducted to propose new indicators of SARA based on the individual pH kinetics determined with intra-ruminal boluses. A signal processing of the sensor and the data zero-centered highlighted relative ruminal pH variation during SARA challenge. Ten primiparous dairy cows were followed for 12 weeks during which two diets were distributed in 3 successive periods: control diet low in RFC (4 weeks), acidogenic diet rich in RFC (4 weeks), and control diet (3 weeks).

Indeed, ruminal pH kinetics demonstrated high inter-individual variability across the experimentation. The average pH was not decreased during SARA challenge even if time spent under $\text{pH} < 5.8$ and $\text{pH} < 6$ was longer. Mathematical kinetics decomposition revealed a significant increase ($P < 0.05$) in magnitude and daily variations of ruminal pH. Longer times spent and greater areas under relative thresholds of $-0,3$ or $-0,5$ pH units were observed after zero-centered data. This study demonstrated the usefulness of such thresholds providing risk indicators of SARA comparable between individuals by overcoming the inter-individual variability.

INTRODUCTION

L'intensification de la production dans les élevages bovins laitiers implique un changement dans l'alimentation afin d'augmenter les apports énergétiques nécessaires à la production accrue de lait. La substitution d'une partie des fourrages par des composés riches en glucides rapidement fermentescibles (GRF) peut néanmoins engendrer des désordres digestifs au niveau du rumen (Enemark et al., 2002). L'acidose ruminale subaiguë (ARSA) apparaît dans de nombreuses études épidémiologiques comme étant le trouble nutritionnel le plus répandu dans les élevages même si l'évaluation de sa prévalence reste délicate (Kleen and Cannizzo, 2012). L'ARSA est caractérisée par des chutes de pH modérées et intermittentes mais aucun consensus scientifique n'existe à l'heure actuelle sur le seuil critique de

ce paramètre pour diagnostiquer cet inconfort digestif (Trevisi et al., 2014). La forte variabilité inter-individuelle du pH ruminal, sa dynamique d'évolution dans le temps ainsi que les différentes techniques de mesure de ce paramètre rendent la définition d'un indicateur universel difficile. Les outils de monitoring tels que les capteurs ruminiaux permettent d'obtenir des cinétiques précises de l'évolution du pH ruminal pour chaque animal (Sato, 2015). Ainsi, des changements de cinétique de pH pourront être mis en évidence plus précisément lors de situations alimentaires contrastées.

Les objectifs de cette étude étaient : 1) d'étudier les variations journalières de pH caractérisant une situation à risque d'ARSA, 2) de décomposer la cinétique du signal pH issu de bolus intra-ruminaux afin d'en extraire de nouveaux indicateurs non sujets à la variabilité inter-individuelle du pH ruminal.

1. MATERIEL ET METHODES

Dans cette étude des vaches laitières ont été soumises à un épisode d'ARSA induit expérimentalement par un changement de régime alimentaire. Dans un 1^{er} temps, l'étude des paramètres zootechniques et ruminiaux (profils fermentaires et microbiens) a été conduite pour confirmer l'apparition d'ARSA chez les animaux. Dans un 2nd temps, un traitement mathématique a été appliqué sur les cinétiques de pH ruminal pour isoler de nouveaux indicateurs caractérisant les situations alimentaires contrastées de notre étude.

1.1. ANIMAUX ET CONDUITE ALIMENTAIRE

Dix vaches laitières primipares (135 ± 7 jours de lactation et 27,5 ± 7 kg lait/jour) de race Holstein, incluant 6 animaux canulés, ont été conduites à l'attache au cours de 12 semaines d'expérimentation. Deux régimes distincts (Tableau 1) iso-énergétiques et iso-protéiques ont été distribués *ad libitum* sur trois périodes successives : régime initial contrôle (P1 = 4 semaines) pauvre en GRF (GRF-), régime acidogène (P2 = 4 semaines) riche en GRF (GRF+), régime contrôle (P3 = 3 semaines) pauvre en GRF (GRF-). Une transition alimentaire de 8 jours a été appliquée entre P1 et P2. Les rations mélangées étaient distribuées à raison de 2/3 le matin et 1/3 le soir après la traite.

Tableau 1 : Ingrédients et composition des régimes

Régimes	(GRF-)	(GRF+)
Ingrédients (% de MS)		
Rapport concentré : fourrage	32 : 68	54 : 46
Foin	7,0	1,8
Ensilage de maïs	20,0	29,8
Ensilage d'herbe	41,0	14,7
Blé concassé	5,6	20,9
Orge concassé	5,0	20,6
Composition chimique (% de MS)		
MO fermentescible	49,3	50,3
NDF fourrage	32,6	20,7
Amidon digestible rumen	10,3	30,0
BACA ¹ , mEq	380	265

¹BACA = Bilan alimentaire en cations et en anions

1.2. DONNEES ANALYSEES

Durant l'expérimentation, les différentes mesures et les prélèvements ont été réalisés en dernière semaine de P1 (semaine 4) et de P3 (semaine 3) ainsi que chaque semaine en P2 (semaines 1, 2, 3 et 4).

1.2.1. Paramètres zootechniques

Les quantités individuelles de matière sèche ingérée (MSI) et de lait produits quotidiennement ont été moyennées pour chaque semaine de mesure. Des échantillons de lait ont été collectés matin et soir sur 2 jours (mardi et mercredi) de chaque semaine de mesure. La composition du lait a été analysée par spectrophotométrie en proche infrarouge sur chaque échantillon. Pour le taux butyreux (TB) et le taux protéique (TP), des valeurs moyennes par semaine et par période ont été calculées.

1.2.2. Paramètres ruminiaux

Un prélèvement de contenu ruminal a été réalisé le mardi de chaque semaine de mesure 4 heures après la distribution de la ration du matin chez les 6 vaches canulées. Les concentrations en acides gras volatils (AGV), lipopolysaccharides (LPS) et les concentrations ruminales de protozoaires et de bactéries ont été déterminées.

Un bolus ruminal (eBolon; eCow, Exeter, UK) a été introduit dans chacune des 10 vaches au début de l'expérimentation permettant la mesure du pH au niveau du réticulum toutes les 15 minutes. Les cinétiques individuelles de pH ruminal ont été moyennées par jour puis par semaine et période.

1.2.3. Décomposition du signal du capteur

Le signal numérique fourni par un capteur est très souvent le reflet de plusieurs phénomènes qu'il peut être intéressant de séparer du point de vue fréquentiel pour mieux les étudier. Ainsi une cinétique de pH brut (Xt) mesurée par un bolus

peut être décrite comme une série chronologique de type additive $Xt = Ct + Dt + Nt$ avec les composantes suivantes :

- 1) Ct = variations cycliques du pH influencées par :
 - fréquence des repas (journalier)
 - composition du régime (périodes expérimentales)
- 2) Dt = tendances liées à :
 - dérive du capteur au cours du temps (+/- 0,1 unité pH/30 jours d'utilisation)
 - imprécision de calibration (+/- 0,1 unité pH)
 - pH moyen physiologique de l'animal
- 3) Nt = bruits de mesure

Afin d'étudier les composantes d'intérêt (Ct), des filtres linéaires à moyenne mobile ont été appliqués sur le pH brut. Les moyennes mobiles ont été calculées dans une fenêtre de temps centrées sur le point considéré, symétriques et pondérées par une gaussienne pour augmenter le poids des points les plus proches de celui considéré. Une fenêtre temporelle de 180 min a été appliquée sur les données brutes (pH brut) pour filtrer les bruits (Nt) et ainsi lisser les cinétiques (pH filtré). Une fenêtre temporelle de 8 semaines a été utilisée pour isoler la tendance (Dt) et ainsi centrer sur zéro les cinétiques (pH corrigé = pH filtré - Dt) pour tous les individus.

Les caractéristiques d'amplitude (pH max - pH min) et de variation (écart-type) du pH journalier ont été calculées à partir des cinétiques de pH filtré pour chaque fenêtre de 24h.

Les temps passés sous pH seuils ainsi que les aires sous la courbe (ASC) ont été calculés sur les cinétiques brutes selon les seuils absolus utilisés classiquement dans la littérature : pH < 6,0 et pH < 5,8 /jour.

Ces mêmes calculs ont été réalisés sur les cinétiques traitées mathématiquement. Ainsi, des temps passés et des ASC sous valeurs seuils relatifs ont été calculés pour des delta correspondant à -0,3 et -0,5 unités pH.

1.3. TRAITEMENTS STATISTIQUES

Un modèle mixte linéaire réalisé avec le package lme4 sous R3.2.3 a été utilisé pour étudier les différences des variables analysées entre périodes. Le facteur période confondu avec l'effet régime a été considéré comme effet fixe. Afin de prendre en compte les mesures répétées pour chaque individu, le facteur animal a été traité en aléatoire. Un test de Tukey a permis de comparer 2 à 2 chaque période. Une analyse en composante principale a été conduite afin de visualiser l'ensemble des variables étudiées et de mettre en évidence leurs liaisons et leurs oppositions.

2. RESULTATS

2.1. PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

La MSI des animaux a chuté ($P < 0,05$) pendant le challenge acidogène (16,4 kg/j en P2 contre respectivement 19,0 et 17,7 kg/j en P1 et P3). La production laitière a quant à elle diminué tout au long des 12 semaines d'expérimentation. Une chute du taux butyreux (TB) dans le lait, concomitante avec une augmentation du taux protéique (TP) ($P < 0,05$) a engendré une inversion du rapport TB/TP durant les 4 semaines de P2 (TB/TP moyen en P2 = 0,97 vs 1,21 et 1,13 respectivement en P1 et P3). La concentration en cellules somatiques dans le lait a augmenté en P2 ($P < 0,05$) par rapport aux périodes contrôles (5,15 ; 4,81 ; 4,75 log₁₀/mL respectivement pour P2, P1 et P3).

2.2. CARACTERISTIQUES DU RUMEN

2.2.1 Profils fermentaires et microbiens

La concentration molaire totale en AGV n'a pas été modifiée au cours de l'expérimentation. Néanmoins, la diminution de la proportion molaire en acétate au profit du propionate en P2 a conduit à la diminution significative du ratio acétate/propionate (ratio < 3,0). La proportion molaire en valérate a atteint 3,9 % en P2 vs 2,5 et 2,8 % en P1 et P3, respectivement. Conjointement, la proportion molaire en butyrate a diminué en P2 (12,2 %) par rapport à P1 et P3 (14,3 et 13,8 %, respectivement). Si aucune variation de la concentration en bactéries totales n'a été mise en évidence,

seule la proportion relative de l'espèce bactérienne *Megasphaera elsdenii* a augmenté en P2 ($P < 0,05$). La concentration en protozoaires totaux a chuté ($P < 0,05$) en P2 (4,89 log₁₀/mL vs 5,35 log₁₀/mL en P1) et, en P3, n'est pas revenue à la concentration initiale (5,02 log₁₀/mL). La concentration en LPS a augmenté ($P < 0,05$) en P2 (3,43 et 3,82 log₁₀/mL, respectivement en P1 et P3 vs 4,38 log₁₀/mL en P2). L'analyse en composante principale (ACP) révèle une nette séparation des individus sur l'axe horizontal (57,1 % de la variabilité expliquée) lors de la période acidogène, opposée à P1 et P3 qui sont-elles même confondues. Les variables de pH sont corrélées positivement à la teneur en LPS et en valérate alors qu'elles sont liées négativement à la concentration molaire en butyrate et protozoaires et aux rapports C2/C3 et TB/TP (Figure 1).

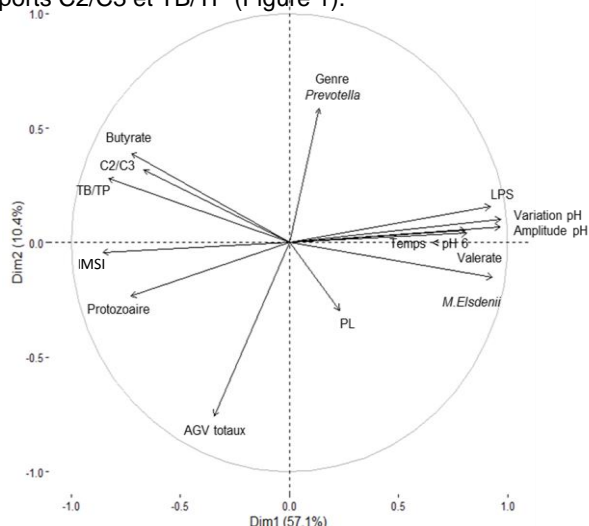


Figure 1 : Cercle factoriel de l'analyse en composante principale sur des variables ruminales et zootechniques ($n=18 : 6/période$)

2.2.2 Cinétique du pH ruminal

Ces résultats sont synthétisés dans le Tableau 2. Une forte variabilité inter-individuelle du pH ruminal (6,1 - 6,7) est observée en P1 ainsi qu'un début de dérive des capteurs (Figure 2). En moyenne, le pH journalier n'a pas varié entre P1 et P2 alors qu'une augmentation a été observée en P3 ($P < 0,05$). Le temps passé sous pH < 6 a augmenté en P2 ($P < 0,05$) comparativement à P1. En P3, le temps passé sous pH < 6 n'a pas été différent de P1. L'amplitude journalière a atteint en moyenne 0,78 unité pH avec le régime GRF+ en P2 alors que sous le régime GRF- en P1 et P3, elle n'a jamais excédé 0,54 unité pH ($P < 0,05$). L'écart type à la moyenne arithmétique a doublé en P2 par rapport à P1. Les temps passés sous pH seuil de -0,3 unité pH sont nettement allongés en P2 par rapport à P1 et P3 et tous les animaux ont au moins passé plus de 60 min/jour sous ce seuil au cours de P2. L'ASC sous ce seuil a également été plus importante en P2 comparativement à P1 et P3. Les mêmes évolutions ont été observées pour ces indicateurs sous le seuil de -0,5 unité pH.

3. DISCUSSION

3.1. EFFETS D'UN RÉGIME RICHE EN GRF SUR LES INDICATEURS ABSOLUS DE L'ARSA

La ration utilisée pour induire expérimentalement l'épisode d'ARSA a été formulée pour remplir les conditions acidogènes précédemment décrites dans la littérature (Sauvant and Peyraud, 2010). Ainsi, le régime acidogène (GRF+) contient 30 % de MS d'amidon digestible dans le rumen, un NDF fourrage inférieur à 25 % de la MS, et un BACA supérieur à 250 Meq/MS. Dans ce même article et comme observé dans notre étude, les ratios TB/TP < 1 et C2/C3 < 3 confirment le caractère acidogène de la ration utilisée en P2. Toutefois, la concentration totale en AGV dans le jus de rumen n'a pas varié dans notre expérimentation tout comme le pH moyen entre P1 et P2.

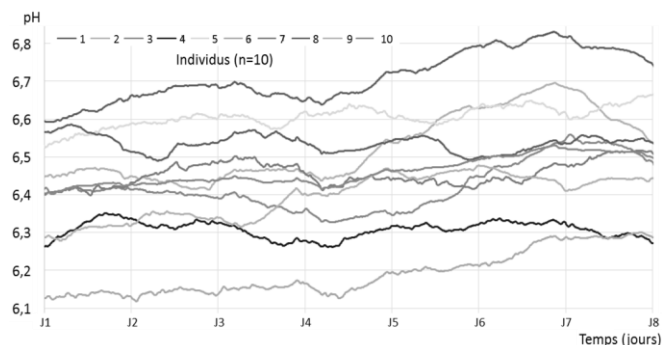


Figure 2 : Variabilité inter-individuelle et dérive des pH moyens journaliers mesurés avec des bolus intra-ruminaux sur 8 jours en P1

Ceci est cohérent avec le fait que le pH ruminal est largement dépendant de la concentration en AGV totaux (Allen, 1997). Néanmoins, une réorientation du profil fermentaire au profit du propionate et au détriment de l'acétate a été observée tout comme une augmentation du temps passé sous pH seuil confortant la présence d'ARSA dans notre étude (Enemark et al., 2002).

L'absence de corrélation entre le pH moyen et le temps passé sous pH seuils dans notre étude n'est pas en accord avec les résultats exposés par Dragomir et al. (2008). Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que dans notre étude, les mesures ont été réalisées toutes les 15 min sur 24h et prennent aussi en compte la remontée du pH préprandial associée au jeûne nocturne. Dans notre étude, l'utilisation de capteurs ruminiaux associée au nettoyage du signal a permis d'obtenir une représentation plus complète de la cinétique journalière du pH ruminal chez la vache laitière dans nos conditions expérimentales. Des effets sur les paramètres ruminiaux et zootechniques ont été observés lors de la distribution du régime acidogène en P2. La réduction de la MSI, des ratios TB/TP et acétate/propionate ont été très largement reportés lors de la distribution de régimes acidogènes (Kleen et al., 2003). Lorsque des régimes riches en amidon sont distribués, le lactate en excès est préférentiellement utilisé par l'espèce bactérienne *M. elsdenii* conduisant notamment à la production de valérate (Stewart et al., 1997). L'apport important en GRF a régulièrement été associé à l'augmentation de la lyse des bactéries Gram négatives libérant des endotoxines telles que les LPS dans le rumen (Khafipour et al., 2009, Zebeli et al., 2010). Ces molécules sont incriminées dans le déclenchement de processus inflammatoires généralisés entraînant des baisses de performances chez les vaches hautes productrices (Emmanuel et al., 2008). Dans notre étude, les modifications observées pour ces variables individuelles sont en concordance avec la littérature. En revanche, prises séparément, ces variables ne sont pas spécifiques de l'ARSA. L'ACP (Figure 1) permet de mettre en évidence des oppositions ou des liaisons entre ces différentes variables et discrimine alors nettement le régime acidogène du régime contrôle. Ce résultat confirme l'apparition d'ARSA chez les animaux suivis dans cette étude et nous permet d'investiguer les différences observées pour les indicateurs de pH calculés entre P2 et P1/P3. Même si aucun consensus scientifique n'est établi, les temps passés sous pH seuils semblent plus faibles que ceux trouvés dans la littérature pour définir l'ARSA (temps > à 180 min/jour à pH < 5,5 (Kleen et al., 2003), > à 320 min à pH < 5,8 (Zebeli et al., 2008) ou > 240 min/jour à pH < 6 (Sauvant et al., 1999). Néanmoins, dans la plupart des études, les animaux avaient initialement une durée de pH ruminal inférieur à ces seuils pouvant atteindre jusqu'à 480 min/jour à pH < 6,0 en condition contrôle contre 800 min sous challenge acidogène (Li et al., 2012). Ainsi, aucun seuil commun de risque n'a jusqu'à présent été proposé pour définir l'ARSA notamment à cause de ces fortes variabilités inter-individuelles et inter-études observées (Danscher et al., 2015).

Tableau 2 : Effet d'un régime riche en glucides rapidement fermentescibles sur des paramètres relatifs au pH ruminal (n= 10)

Indicateurs	(GRF-)		(GRF+)		(GRF-)		Modèle <i>rsd</i>	Effet régime <i>P-value</i>
	Moyenne	sd	Moyenne	sd	Moyenne	sd		
<i>Valeurs absolues</i>								
pH moyen journalier	6,46 ^a	0,13	6,54 ^a	0,21	6,70 ^b	0,32	0,11	<0,001
Temps passé sous pH < 5,8 (min/jour)	0 ^a	0	35 ^b	58	0 ^a	0	43	0,004
Temps passé sous pH < 6,0 (min/jour)	33 ^a	80	120 ^b	145	41 ^a	77	81	<0,001
<i>Valeurs relatives</i>								
Amplitude journalière (unité pH)	0,46 ^a	0,05	0,78 ^b	0,18	0,54 ^a	0,17	0,06	<0,001
Ecart type journalier (unité pH)	0,14 ^a	0,02	0,26 ^b	0,06	0,17 ^a	0,16	0,04	<0,001
Temps passé sous pH -0,3 (min/jour)	23 ^a	44	218 ^b	114	31 ^a	42	108	<0,001
Temps passé sous pH -0,5 (min/jour)	0 ^a	0	41 ^b	43	0 ^a	0	38	<0,001
ASC sous pH - 0,3 (min X pH)	1,6 ^a	3,3	27,4 ^b	18,1	1,4 ^a	2,4	18	<0,001
ASC sous pH - 0,5 (min X pH)	0 ^a	0	5 ^b	5,6	0 ^a	0	7	0,012

^{abc} Si l'effet période est significatif, les lettres indiquent les différences entre groupes ($P \leq 0,05$), sd= écart type, rsd = écart type résiduel

3.2. NOUVEAUX INDICATEURS RELATIFS BASES SUR LES CINÉTIQUES DE PH RUMINAL POUR DIAGNOSTIQUER L'ARSA

Pour étudier l'impact du type de rationnement sur le pH ruminal des bovins, Erickson et al. (2003) ont analysé les différences d'amplitude et de variance des mesures de pH réalisées en cinétique. Basée sur ces observations et à l'aide de notre traitement du signal, notre étude a permis de mettre en évidence des indicateurs de l'ARSA moins assujettis à la variabilité du pH ruminal en :

1) isolant les composantes d'intérêts (application de filtres et suppression des bruits) afin de mettre en évidence les modifications générées lors du challenge acidogène sur le pH corrigé, 2) normalisant les cinétiques afin de créer des seuils relatifs s'affranchissant de la variabilité inter-individuelle.

Le centrage sur zéro des cinétiques pH et le calcul de seuils relatifs ont permis de s'affranchir de la forte variabilité inter-individuelle observée en P1.

L'augmentation de l'amplitude et de l'écart type du pH ruminal lorsqu'un régime riche en GRF est distribué témoigne de la difficulté des animaux à tamponner le contenu ruminal (Gasteiner et al., 2009). Par ailleurs, le microbiote ruminal serait plus sensible à de fortes variations journalières du pH plutôt qu'à un pH bas mais stable (Wales et al., 2004, Moya et al., 2014). Cette instabilité de l'écosystème microbien peut alors altérer la santé digestive des animaux allant jusqu'à entraîner des baisses de production et d'autres pathologies périphériques (Martin et al., 2006).

Dans notre étude où un épisode d'ARSA a été expérimentalement induit, une amplitude relative de plus de 0,75 unité pH ou un écart type supérieur à 0,25 unité pH reflètent une situation à risque d'ARSA. L'utilisation des temps passés sous seuils relatifs de -0,3 et -0,5 unité pH ainsi que les ASC associées à ces seuils semblent également adaptés pour mettre en évidence l'ARSA chez chaque animal. Dans nos conditions expérimentales, un temps passé d'au moins 218 min/jour sous un seuil de -0,3 unité pH et une ASC supérieure à 27 caractérisent notre situation acidogène. Si le seuil de -0,5 unité pH est choisi, un temps passé supérieur à 41 min/jour et une ASC de plus de 5 sont également pertinents pour identifier le risque d'ARSA avec notre challenge imposé. L'avantage non négligeable de cette approche est de s'affranchir de la variabilité inter-individuelle du pH initial des animaux (Palmonari et al., 2010) impactant fortement les valeurs passées sous pH<5.8 et pH<6.

CONCLUSION

L'analyse combinée des performances zootechniques des animaux et des caractéristiques ruminales a permis de valider l'induction d'un épisode d'ARSA dans notre étude et les deux régimes discriminés ont pu être décrits par de nouveaux indicateurs basés sur la cinétique de pH. Une amplitude de pH journalier supérieure à 0,75 unité pH ou un écart type supérieur à 0,25 informent sur le statut acidogène du contenu ruminal dans les conditions d'alimentation étudiées. Les seuils relatifs de temps passé ou l'ASC sous

pH -0,3 et -0,5 permettent de s'affranchir de la variabilité animale et d'uniformiser les niveaux de risque d'ARSA entre individus.

Les indicateurs décrits dans cette étude devront toutefois être confrontés à des situations à risque d'acidose diverses et sur un grand nombre d'animaux pour pouvoir évaluer leur intérêt face aux indicateurs classique de la littérature.

- Allen, M. S., 1997. J Dairy Sci, 80,7, 1447-1462.
- Danschler, A. M., Li, S., Andersen, P. H., Khafipour, E., Kristensen, N. B., and Plaizier, J. C., 2015. Acta Veterinaria Scandinavica, 57,1.
- Dragomir, C., Sauvart, D., Peyraud, J. L., Giger-Reverdin, S., and Michalet-Doreau, B., 2008. Animal, 2,10, 1437-1448.
- Emmanuel, D. G. V., Dunn, S. M., and Ametaj, B. N., 2008. J Dairy Sci, 91,2, 606-614.
- Enemark, J. M. D., Jorgensen, R., and Enemark, P. S., 2002. Veterinaria ir zootechnika, 20,42, 16-29.
- Erickson, G., Milton, C., Fanning, K., Cooper, R., Swingle, R., Parrott, J., Vogel, G., and Klopfenstein, T., 2003. J Anim Sci, 81,11, 2869-2879.
- Gasteiner, J., Fallast, M., Rosenkranz, S., Häusler, J., Schneider, K., and Guggenberger, T. 2009. in Proc. Fourth Eur. Conf. Prec. Livestock Farming, Wageningen, the Netherlands.
- Khafipour, E., Krause, D. O., and Plaizier, J. C., 2009. J Dairy Sci, 92,4, 1712-1724.
- Kleen, J., Hooijer, G., Rehage, J., and Noordhuizen, J., 2003. J Vet Med A, 50,8, 406-414.
- Kleen, J. L. and Cannizzo, C., 2012. Anim Feed Sci Tech, 172,1, 4-8.
- Li, S., Khafipour, E., Krause, D. O., Kroeker, A., Rodriguez-Lecompte, J. C., Gozho, G. N., and Plaizier, J. C., 2012. J Dairy Sci, 95,1, 294-303.
- Martin, C., Brossard, L., and Doreau, M., 2006. INRA Prod. Anim, 19,2, 93-108.
- Moya, D., Holtshausen, L., Marti, S., Gibb, D., McAllister, T., Beauchemin, K., and Schwartzkopf-Genswein, K., 2014. J Anim Sci, 92,8, 3526-3536.
- Palmonari, A., Stevenson, D., Mertens, D., Cruywagen, C., and Weimer, P., 2010. J Dairy Sci, 93,1, 279-287.
- Sato, S., 2015. Anim Sci J.
- Sauvart, D., Meschy, F., and Mertens, D., 1999. INRA Prod Anim, 12, 49-60.
- Sauvart, D. and Peyraud, J., 2010. INRA Prod Anim, 23,4, 333.
- Stewart, C., Flint, H., and Bryant, M. 1997. in The rumen microbial ecosystem. Springer 10-72
- Trevisi, E., Minuti, A., Cogrossi, S., Grossi, P., Ahmed, S., and Bani, P., 2014. Anim. Prod. Sci., 54,9, 1268-1272.
- Wales, W., Kolver, E., Thorne, P., and Egan, A., 2004. J Dairy Sci, 87,6, 1864-1871.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B., and Drochner, W., 2008. J Dairy Sci, 91,5, 2046-2066.
- Zebeli, Q., Dunn, S., and Ametaj, B., 2010. J Anim Sci, 88,4, 1545-1553.

