

Calculs de ration et évaluation du risque d'acidose

D. SAUVANT^{1,2}, J.-L. PEYRAUD^{3,4}

¹ INRA, UMR791 Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

² AgroParisTech, Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

³ INRA, UMR1080 Production du lait, F-35590 Saint-Gilles, France

⁴ Agrocampus Ouest, Production du lait, F-35590 Saint-Gilles, France

Courriel : daniel.sauvant@agroparistech.fr

L'intensification des élevages de ruminants et l'accroissement des performances des animaux sont associés à l'emploi de régimes de plus en plus riches en énergie. Cette évolution a entraîné une fréquence accrue des phénomènes d'acidose du rumen. Des indicateurs simples et pertinents liés à la ration distribuée sont proposés pour prévenir cette pathologie latente qui s'accompagne de lourdes pertes économiques.

1 / Origine et importance de l'acidose latente en élevage

On parle d'acidose du rumen lorsque le pH moyen de ses contenus sur la journée devient inférieur à 6. L'acidose latente, ou subaiguë, se rencontre presque systématiquement dans les élevages intensifs lorsque les animaux à niveau élevé de performances reçoivent des rations riches en aliments concentrés. Ces troubles sont connus depuis longtemps, et ils se rencontrent de plus en plus, à mesure de l'intensification des productions. Ils se traduisent en particulier par des périodes de chute d'ingestion et de performances qui peuvent durer plusieurs jours (Desnoyers *et al* 2009b).

Differentes études montrent une prévalence importante de l'acidose en élevage laitier avec 15 à 30% des vaches en pleine lactation atteintes, que ce soit aux USA (Kleen *et al* 2003) ou en Europe (Kleen *et al* 2004, Morgante *et al* 2007). Une autre enquête réalisée dans l'état de New-York a estimé une perte économique liée à l'acidose comprise entre 400 et 475 \$ US par vache et par an (Krause et Oetzel 2006). Cette estimation, basée uniquement sur la diminution de production, sous-estime l'impact financier global de l'acidose car elle ne considère pas les autres problèmes physiopathologiques et coûts induits. Au vu de ces données, l'acidose latente est à considérer comme une problématique majeure pour la nutrition

des ruminants à haut niveau de production.

Differentes synthèses ont été écrites sur l'acidose ruminale et métabolique, en particulier celles du dossier de la revue INRA Productions Animales en 2006 (Martin *et al* 2006, Peyraud et Apper-Bossard 2006, Sauvant *et al* 2006). Malgré une bibliographie abondante sur cette thématique, il n'existe encore pas aujourd'hui de système de prévision fiable du risque d'acidose latente intégrant l'ensemble des facteurs à l'origine des troubles et définissant avec précision les situations à risque. Cet article fournit les lois de réponses actuellement connues aux facteurs affectant l'homéostase acido-basique de l'animal et en tire des valeurs seuils à recommander pour limiter les risques.

2 / Critères d'évaluation et origine de l'acidose latente

Le mécanisme intime de l'acidification du rumen est assez simple puisqu'il s'agit d'un équilibre acide-base. L'acidose latente résulte d'un déséquilibre entre des fermentations ruminales trop intenses, qui produisent des acides gras volatils, en rapport à leur neutralisation qui est principalement liée au recyclage de substances tampons par la salive, phénomène étroitement lié aux activités masticatoires. Cependant, en pratique, l'acidose dépend en fait de nombreux facteurs. Une partie de ceux-ci peuvent être pris en compte à

travers des indicateurs de risque (cf. ci-dessous) dont il convient de respecter des seuils limites. Au-delà de ces indicateurs, d'autres facteurs existent, il s'agit par exemple du niveau d'ingestion. Ainsi, pour un régime donné, le pH du rumen diminue en moyenne de $0,20 \pm 0,03$ (Sauvant non publié) unité pour un accroissement du niveau d'ingestion de 1% du poids vif du fait de l'accroissement de la quantité d'éléments qui fermentent dans le rumen. L'acidose latente est donc avant tout un problème qui se rencontre chez les animaux à haut niveau d'ingestion et de production. En outre, à ingestion et ration égale, la susceptibilité individuelle à l'acidose est également importante et elle semble être principalement liée à des différences de vitesses d'ingestion (Giger-Reverdin *et al* 2005). Enfin, acidose du rumen et acidose métabolique sont en partie liées comme cela est indiqué ci-dessous.

2.1 / Les critères d'évaluation de l'acidose latente du rumen

Differentes critères, caractéristiques de l'état d'acidose, mesurés dans les contenus de rumen, peuvent être retenus : pH moyen, durée de pH en dessous d'une valeur seuil (généralement 6,0 ou 5,8), chute de pH durant la période postprandiale. Dans une étude récente, Dragomir *et al* (2008) ont montré que tous ces critères étaient en fait étroitement corrélés entre eux. Nous avons donc décidé de ne nous repérer qu'à la valeur moyenne du pH qui est la caractéristique la plus

étudiée de la littérature. Les recommandations effectuées ci-dessous pour les différents indicateurs correspondent au seuil de pH de 6,2 de manière à tenir compte d'une certaine marge de sécurité.

Comme le pH résulte d'abord de la concentration en Acides Gras Volatils (AGV) dans le rumen, ce paramètre peut également être utilisé pour évaluer l'état d'acidose ruminale. En fait, pH et [AGV] (mmol/L) sont significativement liés :

$$\text{pH} = 6,96 - 0,007 [\text{AGV}] \quad (n = 807, R^2 = 0,28, \text{ETR} = 0,26) \quad (\text{Sauvant } \text{et al 2006})$$

L'Ecart Type Résiduel (ETR) de cette régression globale, indique que, pour une valeur donnée de concentration en AGV, l'étendue des valeurs de pH correspondantes est relativement large (environ 1 point) en raison des variations du pouvoir tampon de ce milieu. Le pH du rumen est aussi étroitement associé au profil en acides gras volatils issus des fermentations des glucides alimentaires dans le rumen. Par exemple, le rapport acetate/propionate (A/P), qui est lié au statut énergétique des microorganismes de l'écosystème ruminal, lui est très corrélé en intra-expérience (figure 1), et lorsque le pH est < 6,2, le rapport A/P est inférieur à 3. Cette valeur limite de 3 est aussi obtenue lorsque l'on confronte les variations de A/P et du TB du lait avec un TB limite de 38 g/kg (Sauvant *et al* 2001).

Le pH du rumen est finalement assez bien relié au rapport TB/TP du lait (figure 2) et lorsque le pH est inférieur à 6,2 le rapport est de 1,15.

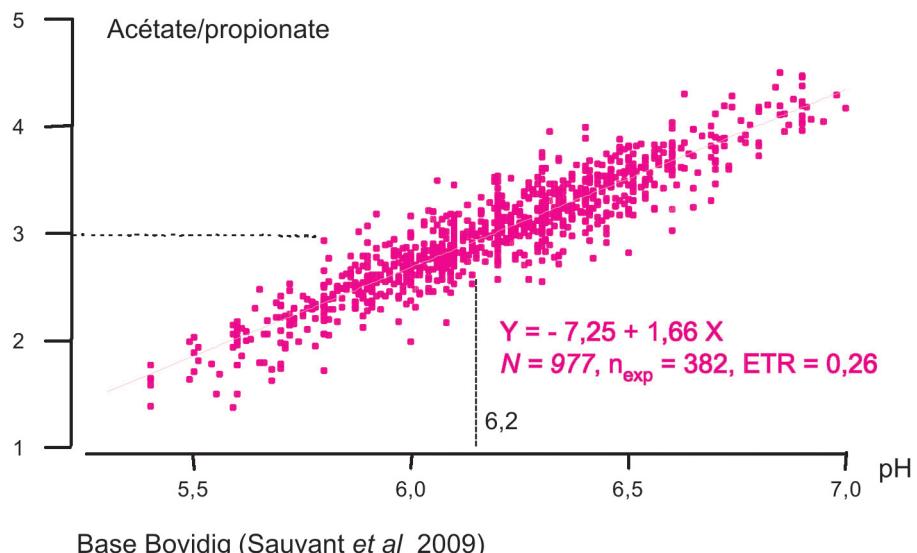
2.2 / Les mécanismes causaux de l'acidose latente du rumen

Au cours des recherches effectuées chez les animaux ruminants, différents paramètres explicatifs de l'état d'acidose ont l'occasion d'être mesurés. Ces paramètres sont intéressants par leur signification biologique, néanmoins ils ne peuvent pas être évalués facilement sur le terrain. Nous évoquons les deux principaux, l'amidon digéré dans le rumen et l'Indice de Mastication (IM).

a) L'apport de constituants fermentescibles

L'acidification du rumen dépend en premier lieu de l'apport de constituants fermentescibles sur place. Ainsi, la synthèse des études ayant quantifié la digestion de l'amidon dans le rumen avec de animaux fistulés a montré que la teneur du régime en amidon digéré dans le rumen (AMDr) était négativement liée au pH de ses contenus (figure 3). Sur la base de cette relation, il

Figure 1. Relation entre le rapport acétate/propionate et le pH du jus de rumen chez les bovins.



apparaît que le pH passe en dessous du seuil de 6,2 lorsque la teneur en amidon digéré excède 20-25% MS. En pratique, la quantité d'amidon digéré dans le rumen peut être prédite assez précisément à partir des résultats de dégradation *in sacco* de l'amidon des aliments, référencées dans les tables INRA-AFZ depuis 2002 (Sauvant *et al* 2002). Les équations de prédiction ont été proposées par Offner et Sauvant (2004). Des données plus éparses concernent les céréales immatures, en particulier l'ensilage de maïs. Il resterait à mieux préciser la dégradabilité ruminal des amidons des fourrages en sortie de silo. Les amidons dégradables ne sont pas les seuls facteurs acidifiant le rumen, les pectines sont également des consti-

tuants réputés très acidogènes en raison de leur digestion rapide (Malestein *et al* 1984, Rustomo *et al* 2006). Enfin, les glucides solubles sont aussi très acidogènes en raison de la rapidité de leur fermentation. Au-delà de la prédiction des teneurs en amidon potentiellement dégradables des aliments, il faudrait prédire aussi les teneurs en MO dégradable.

b) Le recyclage de tampons salivaires par la mastication

L'acidification du rumen dépend aussi de l'apport de substances tampons par la salive et donc de l'activité de mastication. Il est possible de mesurer individuellement l'activité masticatoire

Figure 2. Relation entre le pH ruminal et le rapport taux butyreux/taux protéique du lait.

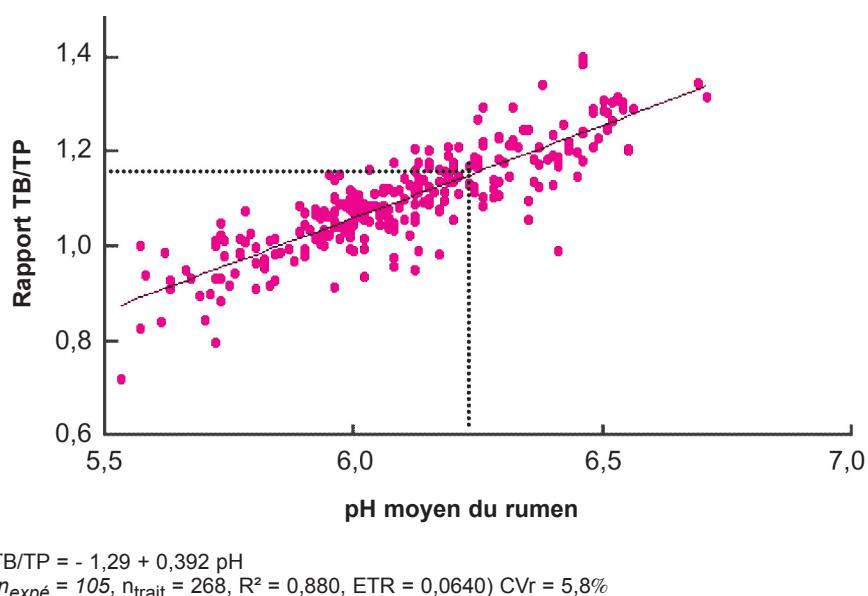
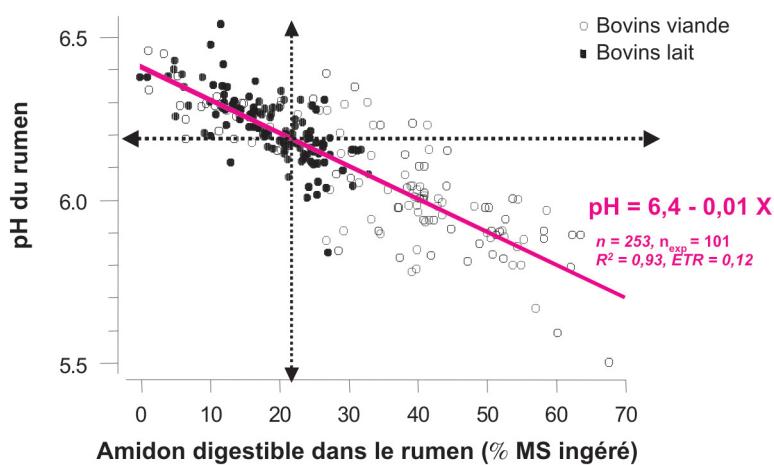


Figure 3. Influence de la teneur en amidon digéré dans le rumen sur le pH ruminal (Offner et Sauvant 2004).



d'ingestion et de ruminat des animaux à l'aide d'appareils adaptés. Ces mesures ont été assez souvent publiées par de nombreux laboratoires ; il est de ce fait possible de les synthétiser pour les associer à d'autres critères digestifs ou métaboliques. Le critère le plus lié aux conditions de digestion dans le rumen est l'Indice de Mastication, exprimé en minutes de mastication totale/kg de MSI. Il a été mis à jour il y a 40 ans (Balch 1971), désigné à l'origine comme «*Fibrosity Index*», et il a aussi été traduit en Indice de Fibrosité (Sauvant *et al* 1990). Chez les bovins, on estime qu'une minute d'IM permet de recycler de 200 à 300 mL de salive (Sauvant *et al* 2008). Il apparaît que le pH du rumen

devient trop acide et que le taux butyreux du lait chute de manière sensible lorsque la ration passe en dessous du seuil d'environ IM < 40 min/kg MSI (Sauvant *et al* 2008). En fait l'IM est souvent proche, voire inférieur à 30 min/kg MSI, chez la vache produisant plus de 35 kg de lait par jour.

L'IM peut atteindre des valeurs élevées avec des fourrages grossiers (de l'ordre de 120 min pour de la paille). En pratique, il participe à l'encombrement de la ration lorsque les valeurs d'IM deviennent supérieures à environ 50 min/kg MSI (Sauvant *et al* 2008). Chez les petits ruminants, le travail masticatoire au kg de MSI est nette-

ment plus important, de l'ordre de 10 fois plus. De ce fait, le seuil minimal d'IM est, pour ces animaux, de l'ordre de 350-400 min/kg MSI. D'une façon générale, les valeurs d'IM sont étroitement liées aux deux critères majeurs de fibrosité du régime évoqués ci-dessous, la taille des particules et la teneur en parois végétales de la fraction fourragère de la ration. Compte tenu de toutes ces propriétés, l'IM a été utilisé au sein de systèmes d'unités de structure dans les pays du nord de l'Europe (De Brabander *et al* 1996). Il n'a pas été adopté par l'INRA, principalement en raison de l'impossibilité d'effectuer des mesures en routine et à cause des doutes qui entourent l'additivité des valeurs IM pour les rations extrêmes, c'est à dire à valeur d'IM très faible ou élevée.

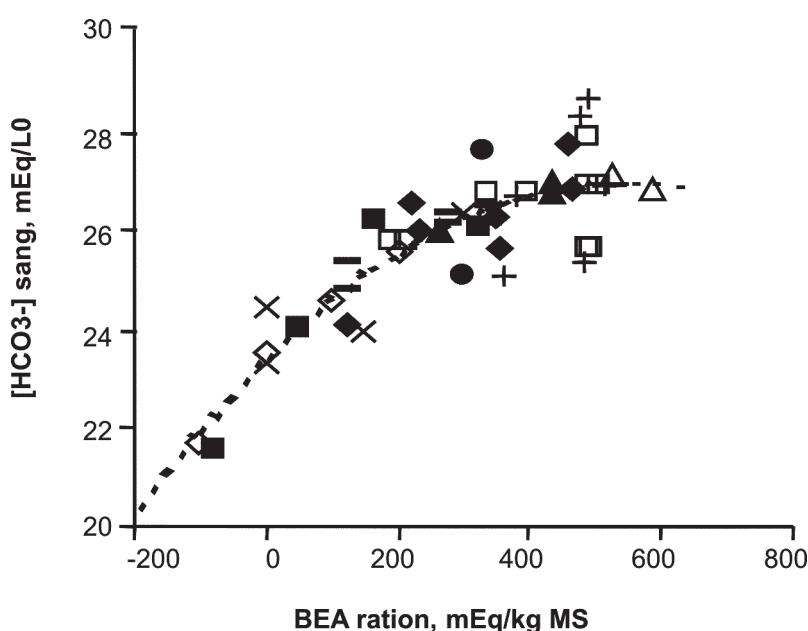
2.3 / Les critères d'évaluation de l'acidose latente métabolique

L'homéostase acido-basique étant une fonction vitale pour l'organisme, les paramètres sanguins de l'équilibre acido-basique sont très finement régulés. Ainsi, le pH sanguin est régulé dans une gamme étroite (7,35 à 7,45). Cette homéostase du pH met en jeu les bicarbonates, comme dans le rumen, et la pression de CO₂, ces deux critères étant positivement liés. Chez la vache en condition normale, le pH, la pCO₂ et les bicarbonates sanguins sont voisins de 7,4, 40 mmHg et 24 mEq/L respectivement (Peyraud et Apper-Bossard 2006). On parle d'acidose latente métabolique lorsque la valeur de l'un de ces paramètres diminue, même si le pH sanguin ne chute pas encore. Ainsi, pour un pH du sang de 7,4, on entre dans une situation d'acidose métabolique lorsque les deux autres critères diminuent par rapport aux valeurs citées ci-dessous.

2.4 / Les mécanismes causaux de l'acidose latente métabolique

Les cations apportés par la ration sont échangés contre des protons au niveau de la paroi du tube digestif, leur addition fait ainsi diminuer la charge en protons, provoquant une augmentation du pH sanguin (ils ont donc un rôle alcalinisateur). À l'inverse, les anions sont échangés contre des bicarbonates et ont donc un rôle acidifiant. Trois ions (Na⁺, K⁺ et Cl⁻) sont prépondérants car ils sont présents en quantité souvent non négligeable dans la ration, ils sont totalement digestibles et sont des constituants essentiels du sang. Ainsi toute modification de la Balance Electro-lytique Alimentaire (BEA mEq/Kg MS = Na⁺ + K⁺ - Cl⁻) permet de moduler l'équilibre acido-basique du sang en modulant sa teneur en bicarbonates (figure 4).

Figure 4. Effet du niveau de BEA de la ration sur la teneur en bicarbonate du sang chez la vache en lactation (adapté de Apper-Bossard *et al* 2009).



$$\text{HCO}_3 = 23,38 + 0,0134 \text{ BE} - 1,23 \cdot 10^{-5} \text{ BE}^2$$

(n_{exp} = 18, n_{trait} = 51, R² = 0,95, ETR = 0,811)

Une valeur insuffisante du BEA entraîne une situation d'acidose métabolique. L'acidose métabolique peut donc être indépendante de l'acidose ruminale. C'est notamment le cas en phase de tarissement et au démarrage de la lactation où des niveaux de BEA faibles sont préconisés pour stimuler la mobilisation du Ca osseux (concomitante à celle des bicarbonates) et éviter l'apparition de fièvres vitulaires. Toutefois, l'acidose latente ruminale peut entraîner des changements dans l'équilibre acido-basique du sang. Ainsi la distribution de rations riches en concentré, et faisant fortement chuter le pH du rumen, peut entraîner une diminution de la réserve alcaline du sang (Goad *et al* 1998, Brown *et al* 2000, Peyraud 2000). Avec ces rations, une proportion plus importante de bicarbonates est dérivée du sang pour neutraliser le pH ruminal à condition que le travail masticatoire soit suffisant.

Les protéines jouent également un rôle sur l'équilibre acido-basique de l'animal, soit directement en augmentant les taux de protéine plasmatique qui peuvent transporter des ions H⁺ soit en modifiant le BEA de la ration puisque les protéines sont généralement riches en ion K⁺ soit, enfin, en libérant des bicarbonates par leur hydrolyse. Ainsi l'accroissement de la teneur en PDIE des rations ou la perfusion de caséine dans le duodénum accroît le pH, les teneurs en bicarbonates (Peyraud et Apper-Bossard 2006).

3 / Les critères prédictifs utilisables en pratique pour prévenir l'acidose latente du rumen

3.1 / Les critères relatifs aux apports de fibres

L'appréciation de la fibrosité des régimes a été l'objet de plusieurs articles dès les années 80-90 (Journet 1988, Sauvant *et al* 1990, Mertens 1997, Sauvant et Mertens 1997, Sauvant *et al* 1999).

a) La teneur en paroi végétale ou fibre chimique

La paroi végétale nécessite, par sa dureté, un travail masticatoire spécifique pour être dilacérée et favoriser la colonisation microbienne et le transit digestif. Au passage, elle favorise donc la production de salive et sécurise ainsi les conditions de la digestion ruminale. Son pouvoir prédictif s'explique aussi également par le fait que la fraction complémentaire au NDF, appelée ND soluble, correspond à des contenus

cellulaires qui sont généralement rapidement fermentés, produisant ainsi des AGV.

Dès 1988, Journet avait proposé que les rations devaient comporter au moins 21% de lignocellulose (ADF). La teneur en fibre totale du régime (teneur en NDF) a été étudiée par Mertens (1997) dans le but d'évaluer la teneur en NDF minimale à respecter au sein des régimes pour limiter le risque d'acidose. Compte tenu de la relation associant le pH du rumen et la teneur en NDF de la ration, il est recommandé que sa teneur ne soit pas en dessous d'un seuil situé vers 30-35% de la MSI.

b) La taille des particules ou fibre physique

La taille des particules du régime, qualifiée de fibre physique, influence le travail masticatoire lorsqu'elle est limitante et, de ce fait, le recyclage des substances tampons. Il importe donc d'en tenir compte comme un des indicateurs du risque d'acidose.

Pour évaluer précisément la taille des particules présentes en moyenne dans un aliment, on le fait passer dans une succession de tamis dont les trous sont de plus en plus petits. Grâce à cette procédure, l'aliment est fractionné en différents sous-ensembles particulaires, il devient alors possible de calculer la taille moyenne théorique des trous du tamis qui bloquerait la moitié des particules. Par un abus de langage, ce critère est désigné par la Taille Particulaire Moyenne (TPM), alors qu'il ne s'agit pas de la taille moyenne des particules de l'aliment considéré (Sauvant 2000). On estime ainsi qu'une ration présente

des risques d'acidose et de chute du TB à partir du moment où sa TPM est inférieure à environ 3-4 mm. Des dispositifs simplifiés à 2 ou 3 tamis sont proposés pour faire du diagnostic de rations sur le terrain, cependant il manque encore des résultats fiables sur les relations entre les résultats obtenus ainsi et des critères objectifs d'état d'acidose.

Pour simplifier encore cette approche, l'évaluation de la fibre physique avec un seul tamis peut aussi être proposé. Ainsi, on obtient une information intéressante avec un seul tamis de taille de trou bien déterminée, il s'agit en général d'un tamis à trous de 4 (P4) ou 2 mm (P2) (Sauvant et Mertens 2002). La figure 5 montre la relation globale, intra-expérience, associant les critères de TPM et de P2 sur un ensemble de rations. On estime qu'une ration présente un risque d'acidose lorsque P2 devient inférieur à environ 45-50% de MS retenue.

c) Les critères associant les deux types de fibres

Il apparaît logique de chercher à associer les fibres chimiques et physiques pour mieux prédire le pH du rumen. Cette association, par exemple de NDF et de TPM, permet de prédire plus précisément le pH (Sauvant et Mertens 2001). Pour essayer d'intégrer les deux composantes chimiques et physiques de la fibrosité des rations, Mertens (1997) a proposé d'appliquer le concept de NDF efficace (NDFe), c'est à dire la fraction NDF qui fait mastiquer. Ce critère NDFe est obtenu en multipliant la teneur en NDF d'une ration par sa proportion de particules retenues par un tamis de 1,18 mm. D'autres variantes de

Figure 5. Relation entre la taille particulaire moyenne et la proportion de particules bloquées au tamis de 2 mm pour des rations complètes.

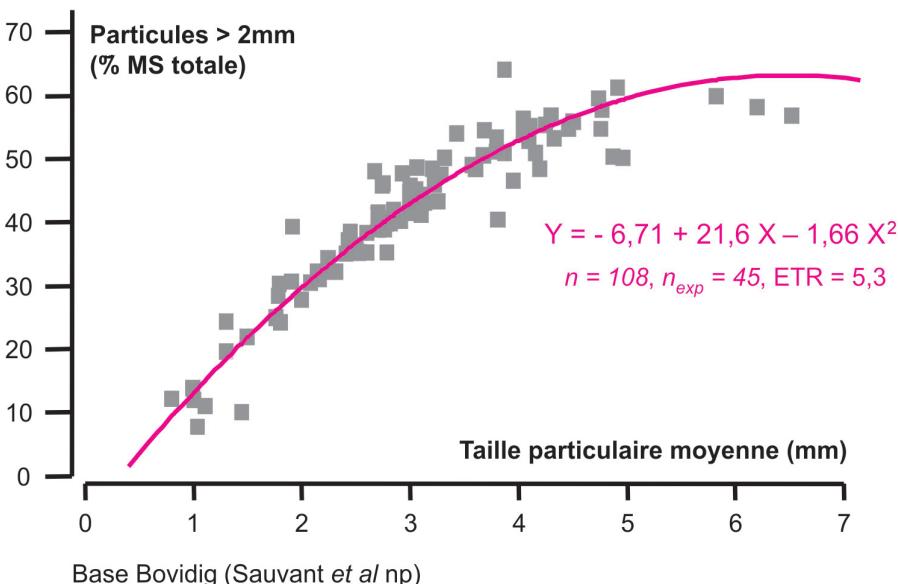
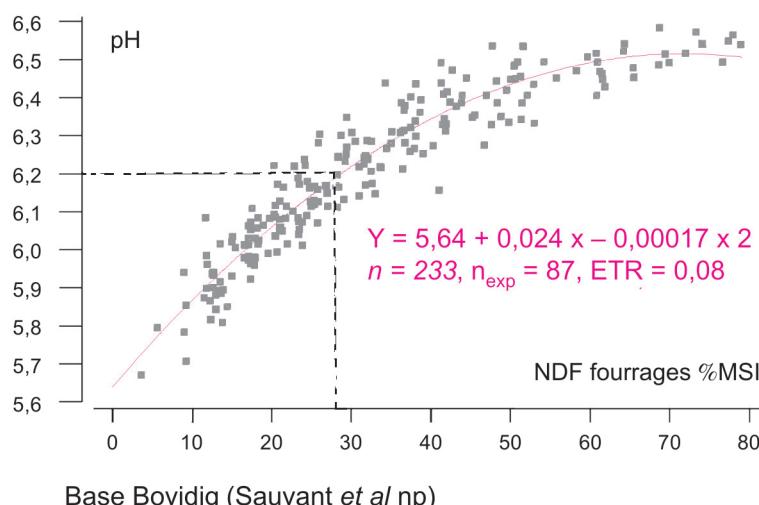


Figure 6. Influence de la teneur en NDF de fourrage du régime sur le pH du rumen chez les bovins.



définition du NDF efficace (eNDF, peNDF...) ont été ultérieurement proposées sur la base de principes comparables (Kononoff *et al* 2003). Une teneur en peNDF1,18 supérieure à 22% serait nécessaire pour maintenir un pH moyen journalier supérieur à 6,0.

Sur le même principe, et pour être encore plus simple au niveau des indicateurs grâce à l'économie d'un tamisage, il est possible de considérer la teneur en NDF de fourrages d'une ration (NDFF%MSI) car les fourrages sont en général présentés sous forme de particules pratiquement retenues en totalité sur un tamis de 2 mm. Les fourrages déshydratés agglomérés ne doivent pas être considérés comme des fournisseurs de NDFF. Le broyage des fourrages conduit à des chutes de pH très importantes dans le rumen (Le Liboux et Peyraud 1998). Ce choix est aussi suggéré par le fait que les variations d'IM ne sont expliquées que par celles du NDF de fourrage et pas par celles du NDF de l'aliment concentré. En outre, le critère NDFF est plus étroitement lié au pH du rumen, au profil des AGV et au TB du lait que la teneur en NDF du régime total. Sa précision serait du même ordre de grandeur que les critères associant NDF et TPM ou P2 évoqués ci-dessus (Sauvant et Mertens 2002). C'est enfin un critère beaucoup plus facilement accessible en pratique. L'étude de ces réponses, en particulier celle du pH (figure 6), conduit à recommander une teneur minimale de l'ordre de 25% de NDF de fourrages longs dans une ration pour maintenir le pH moyen au dessus de 6,2. Au delà de 35-40% de NDFF, l'encombrement des rations augmente et leur ingestibilité diminue sensiblement.

cas des rations distribuées aux femelles laitières ou à des jeunes bovins (Sauvant *et al* 1999).

b) La proportion d'éléments dégradables in sacco apportés par le concentré

Le critère précédent n'intègre pas les effets de la nature du concentré alors qu'il est maintenant bien établi que le pouvoir acidogène des matières premières est très variable et lié à leur rythme de dégradation. Les mesures d'acidogénicité *in vitro* évoquées plus haut ont montré que les matières premières amyloacées étaient plus ou moins acidogènes en fonction de la vitesse de dégradation de leurs fractions d'amidon dans le rumen. Ainsi, les amidons «rapides» (manioc, orge, blé...) sont plus acidogènes que les amidons «lents» (maïs et sorgho). Au sein des glucides non amyloacés, les pectines des pulpes de citrus ou de betterave sont également plus acidogènes que les parois des coques de soja (figure 7) et ce potentiel acidogène des matières première est assez bien prédit par leur teneur en MS dégradée en 4 h d'incubation *in sacco*.

La prise en compte de la dégradabilité *in sacco* individuelle de la MS des constituants des concentrés (DTMS), qui est aujourd'hui une information disponible dans les tables INRA (2007) permet d'améliorer la précision de la prédition du pH par rapport à %CO. L'étude de la réponse du pH ruminal (figure 8), à l'apport de MO dégradable par le concentré ($\text{MO}_{\text{deg}} = \text{MO} \times \text{DTMS}$) amène à recommander une teneur maximale de l'ordre de 25% de MO dégradable *in sacco* de concentré dans une ration pour maintenir le pH moyen au dessus de 6,2.

3.2 / Les critères relatifs aux apports d'éléments fermentescibles

a) La proportion de concentré

Dans la mesure où les aliments concentrés sont, d'une part, en moyenne digérés plus rapidement dans le rumen que les fourrages, et que, d'autre part, ils font moins mastiquer, ils sont a priori considérés comme acidogènes. En effet, lorsqu'on se place dans le contexte d'une ration, les variations du pourcentage d'aliments concentrés (%CO) s'accompagnent de variations du pH. Ainsi, en regroupant des données dans lesquelles l'apport de concentré variait entre des lots, on constate que le pH passe sous le seuil de 6,2 dans le cas de rations excédant environ 45% de concentré, ce qui est fréquemment le

Figure 7. Relation entre le pouvoir acidogène des aliments et la dégradation de leur matière sèche in sacco.

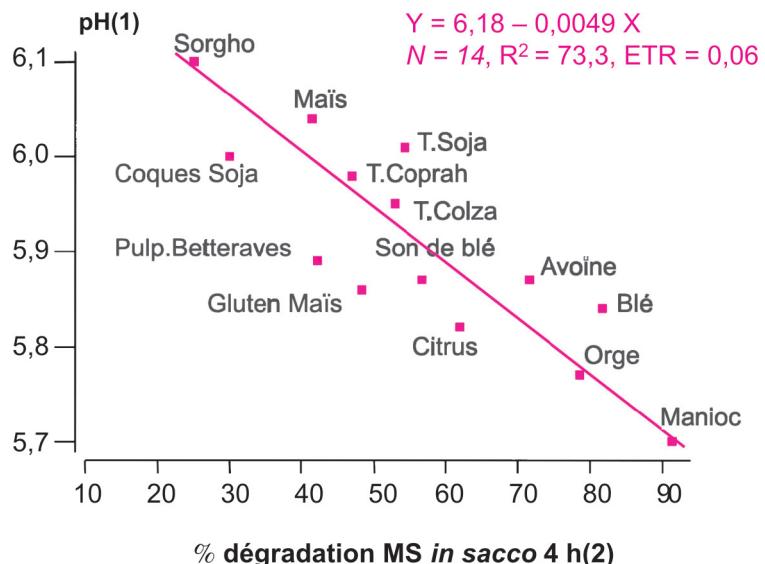
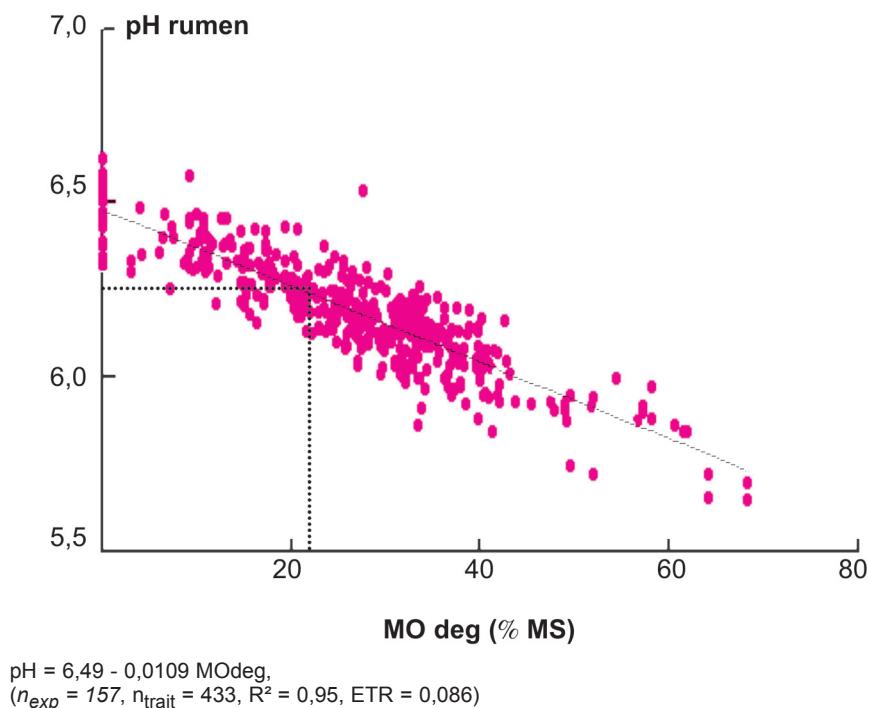


Figure 8. Influence de la teneur en MO dégradable in sacco apportée par le concentré sur le pH ruminal (relation intra-expérience issue d'une méta-analyse de la littérature).



3.3 / Les critères relatifs aux apports d'électrolytes et de protéines

Comme la BEA d'un régime a une influence importante sur les équilibres acido-basiques de l'organisme (cf. supra), et en retour du rumen via le recyclage des bicarbonates sanguins (Apper-Bossard *et al* 2010), il convient d'éviter les régimes acidogènes possédant des valeurs faibles, voire négatives de BEA. L'ingestion s'accroît avec le niveau de BEA (Apper-Bossard *et al* 2009), les effets étant surtout importants lorsque le BEA s'accroît depuis des valeurs négatives jusqu'à environ 200 mEq/kg MS. En pratique, il est recommandé de maintenir les régimes des ruminants au dessus d'une valeur de BEA de 200-250 mEq/kg MS (Peyraud et Apper-Bossard 2006) d'autant plus que la réponse de l'ingestion à l'accroissement de BEA est plus marquée pour les rations riches en éléments fermentescibles (figure 9). L'accroissement de niveau de BEA permet alors d'éviter une chute des bicarbonates et des réserves alcalines sanguines et peut aussi entraîner un accroissement du recyclage salivaire pouvant en retour participer à la régulation du pH ruminal.

Cette recommandation est cependant à nuancer en fonction du stade physiologique de l'animal et de la valeur azotée du régime. Aux alentours de la mise bas,

régime se traduit par une libération d'ions bicarbonate qui contribuent à la régulation du pH du milieu ruminal. De ce fait, une teneur en protéines du régime plus élevée constitue une certaine sécurisation par rapport à un risque d'acidose sachant que, par ailleurs, cela peut conduire à un gâchis azoté.

Compte tenu du rôle des protéines sur l'équilibre acido-basique de l'animal, un apport de 100 g PDIE/UFL peut être recommandé pour limiter les risques. Ce niveau d'apport permet par ailleurs de maximiser l'ingestion et les performances sans accroître trop sensiblement les rejets d'azote par kg de lait produit.

4 / Les modalités d'interprétation des critères

Tous les critères mesurables en pratique, évoqués ci-dessus, sont plus ou moins liés entre eux par famille avec, d'une part, les critères liés à des activités masticatoires (NDFf, NDFe, TPM, P2, IM) et, d'autre part, ceux liés aux fermentations (AMDru, MOdeg). Entre ces deux familles, d'autres critères regroupent les deux effets (NDF, %CO...). Comparativement à AMDru, MOdeg prend en compte les amidons mais aussi les glucides non amylosés dégradables. MOdeg est directement disponible dans les tables INRA-AFZ (Sauvant *et al* 2002). AMDru correspond à un flux mesuré *in vivo* mais peut être prédite assez précisément à

Figure 9. Effet du niveau de BEA de la ration sur les quantités ingérées par les vaches laitières en fonction du risque acidogène de la ration au niveau ruminal (adapté de Apper-Bossard *et al* 2006).

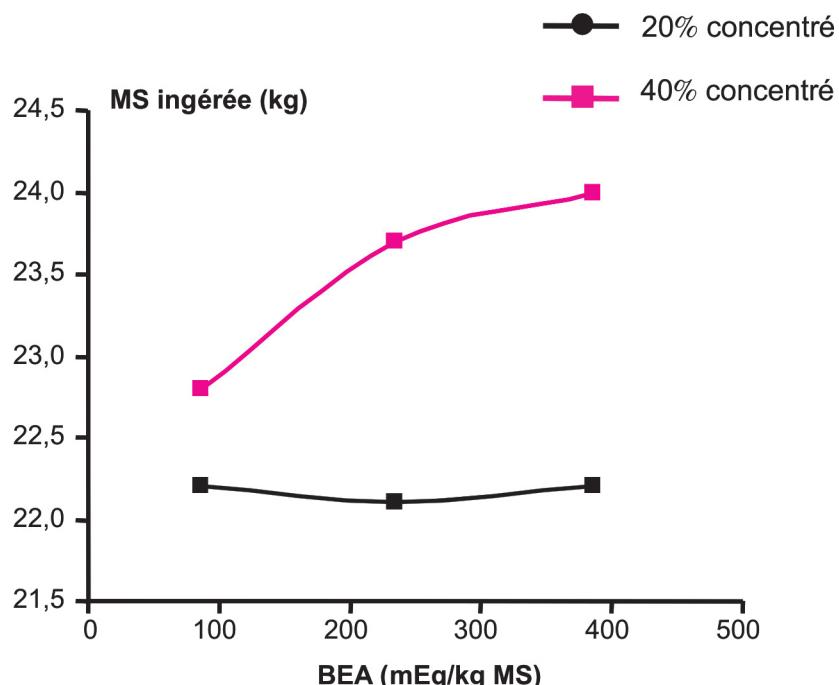
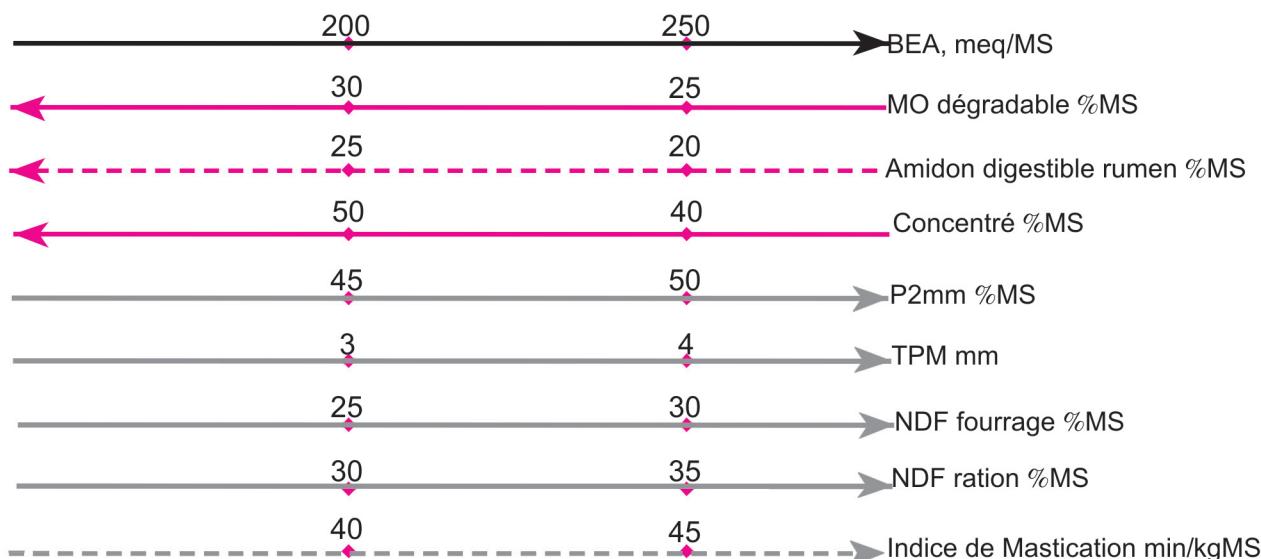


Figure 10. Résumé des valeurs limites des indicateurs de risques d'acidose chez les bovins.

partir des résultats de dégradation *in sacco* de l'amidon des aliments, référencés dans les tables depuis 2002 (Sauvant *et al.*, *op. cit.*) et des équations proposées par Offner et Sauvant (2004).

La figure 10 résume les valeurs limites des principaux critères discutés dans cet article. Les critères de fibrosité sont en gris et ceux de dégradabilité en rouge. Le BEA est en noir et les critères non facilement mesurables en pratique ont été figurés en pointillé. Les différents seuils évoqués tiennent compte d'une certaine marge de sécurité. Donc, pour évaluer un régime, il convient de chercher à le caractériser sur le nombre le plus important possible des indicateurs évoqués ci-dessus et c'est la considération globale de la place du régime en question au sein de ces indicateurs qui permet de juger de l'importance du risque d'acidose et des critères à améliorer.

D'autre part, il a été montré que, lorsqu'un régime est proche des seuils limites admissibles, on peut admettre une certaine substitution entre les indicateurs. Ainsi, si on considère que, pour maintenir une activité masticatoire suffisante, un régime doit présenter un minimum de 45% de P2 et 30% de NDF, un résultat analogue peut être obtenu pour seulement 30% de P2 et 40% de NDF (Sauvant *et al.* 2008)

Pour certains critères évoqués, en particulier l'indice de mastication, les teneurs en NDF du régime, ou NDFF, il convient de garder à l'esprit qu'il existe des teneurs maximales au-delà desquelles la ration devient encombrante et peu ingestible. Ces paramètres peuvent alors

être considérés comme des indices d'encombrement (cf. ci-dessus). Il convient aussi de se rappeler que des niveaux de BEA très élevés (> 500 mEq/kg MS) peuvent aussi réduire l'ingestion.

5 / La correction des rations

5.1 / Le calcul correctif des rations, principales modalités

L'évaluation du risque d'acidose ne doit être réalisée qu'après le calcul normal de la ration selon les recommandations INRA (UE, UF, PDI, Ca, P...). Ensuite, les critères de la figure 10 doivent être calculés lorsque c'est possible et c'est l'appréciation de l'ensemble des valeurs obtenues qui permettra d'évaluer l'importance du risque et d'agir en conséquence en se focalisant sur la correction des caractères les plus critiques.

5.2 / L'apport de substances tampons

Dans le cas de rations présentant un risque élevé d'acidose, s'il n'est pas possible de procéder rapidement à une modification des ingrédients ou du régime, il est recommandé d'apporter un supplément de substances tampons dans le régime. La plus courante d'entre elles est le bicarbonate de sodium et les doses d'apport recommandées sont de 1 à 2% de la MSI. Un apport de 1% de la MSI de bicarbonate permet d'accroître le pH d'environ 0,07 point et, pour des vaches laitières, le TB d'environ 1,5 g/kg (Meschy *et al.* 2004). Il ne s'agit là que de réponses moyennes, la réponse à l'apport de bicarbonate est en fait

d'autant plus marquée que le pH du rumen est faible (exemple + 0,2 point pH si le pH moyen est égal à 6,0) et le TB du lait bas (exemple + 2,6 g/kg si le TB moyen est égal à 30).

5.3 / L'apport de probiotiques

D'autres alternatives alimentaires que l'apport de tampons sont étudiées. Il s'agit en particulier de substances probiotiques. Ainsi, l'apport de levures s'est révélé capable de limiter la chute de pH lors d'expérimentations *in vitro* (Desnoyers *et al.* 2009a). *In vivo*, les effets semblent être moins nets et des études sont en cours pour préciser ces réponses.

Conclusion

Grâce aux nombreux résultats expérimentaux obtenus, on dispose actuellement d'un ensemble d'indicateurs du risque d'acidose en fonction des caractéristiques du régime offert aux animaux. Ceux-ci ont été largement objectivés par des mesures expérimentales et, dans une situation donnée, il n'est pas nécessaire de chercher à les connaître tous puisqu'ils prédisent globalement le même risque. Le minimum est de pouvoir disposer de deux critères, l'un représentatif de l'intensité des fermentations du rumen, l'autre représentatif de la mastication et du recyclage des tampons. Pour chaque critère on peut définir trois zones de valeurs pour caractériser un régime : correct, limite, risqué (figure 10). Le risque sera d'autant plus élevé que le nombre d'indicateurs insuffisants sera important.

Références

- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., Faverdin P., Meschy F., 2006. Changing dietary cation-anion difference for dairy cows fed with two contrasting levels of concentrate in diets. *J. Dairy Sci.*, 89, 749-760.
- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., Dourmad J.Y., 2009. Effet du bilan électrolytique de la ration sur l'équilibre acido-basique et les performances zootechniques des animaux domestiques à fort niveau de production. *INRA Prod. Anim.*, 22, 117-130.
- Apper-Bossard E., Peyraud J.L., Faverdin P., Meschy F. 2010. Effect of dietary cation-anion difference on ruminal matabolism and blood acid-base regulation in dairy cows receiving 2 contrasting levels of concentrate in diets. *J. Dairy Sci.*, 93, 4196-4210.
- Balch C.C., 1971. Proposal to use time spent chewing as an index to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughage. *Br. J. Nutr.*, 26, 383-392.
- Brabender De D.L., Boever De A.M., Smet De J.M., Vanacker J.M., Boucqué C.V., 1996. Structuurwaardering in de Melkveevoeding. Centrum Landbouwkundig Onderzoek, Gent, Belgique, 120p.
- Brown M.S., Krehbiel C.R., Galyean M.L., Remmengas M.D., Peters J.P., Hibbard B., Robinson J., Moseley W.M., 2000. Evaluation of models of acute and subacute acidosis on dry matter intake, ruminal fermentation, blood chemistry, and endocrine profiles of beef steers. *J. Anim. Sci.*, 78, 3155-3168.
- Desnoyers M., Giger-Reverdin S., Bertin G., Duvaux-Ponter C., Sauvant D., 2009a. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.*, 92, 1620-1632.
- Desnoyers M., Giger-Reverdin S., Bertin G., Duvaux-Ponter C., Sauvant D., 2009b. Modelling of off-feed periods due to subacute acidosis in intensive lactating ruminant. Application to goats. *J. Dairy Sci.*, 92, 3894-3906.
- Dragomir C., Sauvant D., Michalet-Doreau B., Peyraud J.L., Giger-Reverdin S., 2008. Meta-analysis of 0-8 hours post-prandial sets of ruminal pH kinetic data meta-analysis of experimental data: application in animal nutrition. *Animal*, 2, 1437-1448.
- Giger-Reverdin S., Desnoyers M., Sauvant D., 2005. Etude de la variabilité individuelle de chèvres laitières à des régimes plus ou moins acidogènes. *Renc. Rech. Rum.*, 252.
- Goad D.W., Goad C.L., Nagaraja T.G., 1998. Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers. *J. Anim. Sci.*, 76, 234-241.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments, Tables INRA 2007. Editions Quae, Paris, France, 307p.
- Journet M., 1988. L'optimisation des rations. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins, INRA Editions, Versailles, France, Chap 7, 121-133.
- Kleen J.L., Hooijer G.A., Rehage J., Noordhuizen. J.P.T.M., 2003. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. *J. Vet. Med. Series A-Physiology Pathology Clinical Medicine* A50, 406-414.
- Kleen J.L., Hooijer G.A., Rehage J., Noordhuizen. J.P.T.M., 2004. Rumenocentesis (rumen puncture): a viable instrument in herd health diagnosis. *Deutsch. Tierärztl. Wochenschr. J. Vet. Med.*, 111, 458-462.
- Kononoff P.J., Heinrichs A.J., Lehman H.A., 2003. The effect of corn silage particle size on eating behaviour, chewing activities and rumen fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86, 10, 3343-3353.
- Krause K. M., Oetzel G.R., 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 126, 215-236.
- Le Liboux S., Peyraud J.L., 1998. Effect of forage particle size and intake level on fermentation patterns and site and extent of digestion in dairy cows fed with mixed diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 73, 131-150.
- Malestein A., Van't Klooster A.Th., Prins R.A., Counotte. G.H.M., 1984. Concentrate feeding and ruminal fermentation. 3. Influence of concentrate ingredients on pH, on DL-lactic acid concentration in rumen fluid of dairy cows and on dry matter intake. *Neth. J. Agric. Sci.*, 32, 9-21.
- Martin C., Brossard L., Doreau M., 2006. Mécanismes d'apparition de l'acidose latente et conséquences physiologiques et zootechniques. *INRA Prod. Anim.*, 19, 79-92.
- Mertens D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirement of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80, 1463-1481.
- Meschy F., Bravo D., Sauvant D., 2004. Analyse quantitative des réponses des vaches laitières à l'apport de substances tampon. *INRA Prod. Anim.*, 17, 11-18.
- Morgante M., Stelletta C., Berzaghi P., Gianesella M., Andriguetto I., 2007. Subacute rumen acidosis in lactating cows: an investigation in intensive Italian dairy herds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 91, 226-234.
- Offner A., Sauvant D., 2004. Prediction of *in vivo* starch digestion in cattle from *in situ* data. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 111, 41-56.
- Peyraud J.L., 2000. La dynamique de dégradation de l'énergie est un élément déterminant de la fibrosité des régimes. *Renc. Rech. Rum.*, 7, 183-186.
- Peyraud J.L., Apper-Bossard E., 2006. L'acidose latente chez la vache laitière. *INRA Prod. Anim.*, 19, 79-92.
- Rustumo B., Cant J.P., Fan M.Z., Duffield T.F., Odongo N.E., McBride B.W., 2006. Acidogenic value of feeds. I. The relationship between the acidogenic value of feeds and *in vitro* ruminal pH changes. *Can. J. Anim. Sci.*, 86, 109-117.
- Sauvant D., Dulphy J.P., Michalet-Doreau B., 1990. Le concept d'indice de fibrosité des aliments des ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 3, 309-318.
- Sauvant D., Mertens D.R., 1997. Modélisation des réponses de la digestion des bovins aux variations de la fibrosité des rations. *Renc. Rech. Rum.*, 99-102.
- Sauvant D., Meschy F., Mertens D.R., 1999. Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.*, 12, 49-60.
- Sauvant D., 2000. Granulométrie des rations et nutrition du ruminant. *INRA Prod. Anim.*, 13, 99-108.
- Sauvant D., Mertens D.R., 2000. Meta-analysis of multiple responses of dairy cow to diet NDF content. *J. Dairy Sci.*, 78 (Suppl.), 354.
- Sauvant D., Martin O., Berthelot V. Mertens D.R., 2001. Influence de la digestion dans le rumen sur la composition des produits. *Renc. Rech. Rum.*, 71-74.
- Sauvant D., Mertens D.R., 2001. Empirical modeling of ruminal pH from dietary NDF and mean particle size. *J. Anim. Sci.*, 79 (Suppl. 1), *J. Dairy Sci.*, 84 (Suppl. 1) ; *Poul. Sci.*, 80 (Suppl. 1), 198-199 (Abst 824).
- Sauvant D., Mertens D.R., 2002. Is fibrosity better evaluated by dietary mean particle size or percentage of dry matter retained by a 2 mm sieve ? *Meet. Am. Dairy Sci. Ass. (ADSA)*, *Am. Soc. Anim. Sci. (ASAS)* and *Can. Soc. Anim. Sci. (CSAS)*, 2002/07/21-25, Québec City (CAN). Abs. n°421.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. *INRA Editions*, Paris, 301p.
- Sauvant D., Giger-Reverdin S., Meschy F., 2006. Le contrôle de l'acidose ruminale latente. *INRA Prod. Anim.*, 19, 69-78.
- Sauvant D., Giger-Reverdin S., Archimède H., Baumont R., 2008. Modélisation des relations entre l'activité masticatoire des ruminants, les caractéristiques du régime et sa digestion. *Renc. Rech. Rum.*, 331-334.

Résumé

L'acidose du rumen soulève des problèmes croissants dans les élevages intensifs. Il est donc souhaitable de pouvoir disposer d'indicateurs simples d'emploi et permettant d'évaluer le risque acidogène des rations dès le moment de leur calcul. Pour établir ces critères, différentes bases de données rassemblées sur des bovins ont été interprétées. Ces interprétations statistiques, par méta-analyses, ont permis de dégager des prédictions du pH moyen du rumen à partir de différentes mesures. Certains critères, pertinents mais difficile à mesurer, relèvent plutôt des unités de recherches (indice de mastication, digestion ruminale de l'amidon). D'autres paramètres peuvent être évalués sur le terrain à partir d'une caractérisation de la ration distribuée ; c'est par exemple le cas de la proportion d'aliments concentrés, ou mieux, de la teneur en MS dégradable de la ration ou du NDF issus de fourrages longs au sein de la Matière Sèche (MS) de la ration qui sont aujourd'hui des critères facilement calculables à partir des tables de la valeur des aliments. La distinction entre les acidoses ruminale et métabolique a aussi été considérée dans ce travail. Pour chaque critère la valeur du pH de 6,2 a été prise comme seuil en dessous duquel le risque d'acidose du rumen était à considérer. A partir des 9 critères retenus, une grille d'évaluation a été proposée en distinguant de façon simple, pour chaque critère, les seuils et les situations à risque. Cette grille peut être facilement ajoutée aux logiciels de calcul des régimes de manière à pouvoir évaluer objectivement le risque d'acidose d'une ration, compte tenu des critères connus.

Abstract

Diet formulation and evaluation of the risk of acidosis

Rumen acidosis raises specific issues in intensive farming. It is therefore desirable to have indicators allowing the assessment of the risk of acidosis in diet formulation. To establish these criterion, several data bases gathered on bovines were analyzed with statistical meta-analyses approaches. This process allows determining prediction equations of mean rumen pH value from various types of measurements. Certain criterion, relevant but difficult to measure on farm, mainly concern the units of research. (chewing index, starch digested into the rumen). Other parameters can be determined in commercial farms from the analysis of the distributed rations. This is for instance the case of the proportion of concentrate in the ration, or better, the content of degradable DM of the ration or NDF resulting from long forages within the DM of the ration which are today easily calculable criteria starting from feed tables. The distinction between ruminal and metabolic acidoses was also considered in this work. For each item the pH value of 6.2 was chosen as a threshold under which the risk of acidosis is becoming a concern. From the nine criterion selected, a simple grid of evaluation was built to assess the risk of acidosis by distinguishing in a simple way, for each criterion, the thresholds and the situations at risk.

This grid can be easily added to the computation software to allow an objective evaluation of the risk of acidosis based on the values of the criteria.

SAUVANT D., PEYRAUD J.-L., 2010. Calculs de ration et évaluation du risque d'acidose. Inra Prod. Anim., 23, 333-342.

