

D. SAUVANT, F. MESCHY, D. MERTENS*

INA-PG - INRA
Département des Sciences Animales,
16 rue Claude Bernard
75345 Paris Cedex 05

* USDA Dairy Forage Research Center,
1925 Linden Drive West, Madison,
WI 53706-1108, USA

Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations

Certains objectifs de production des ruminants conduisent parfois à choisir des régimes alimentaires qui peuvent générer une acidose du rumen. Cet article quantifie les effets des différents facteurs alimentaires impliqués afin de les intégrer dans des équations de prédiction du pH du rumen.

Résumé

L'état d'acidose ruminale latente constitue une des préoccupations majeures de la nutrition moderne des animaux ruminants. En effet, l'accroissement des potentiels de production a entraîné l'apport de rations plus concentrées en énergie. De ce fait, le rumen de ces animaux doit traiter des quantités accrues de matières organiques fermentescibles et les fermentations plus intenses consécutives entraînent un état d'acidose aux effets zootechniques défavorables : interactions digestives négatives, dégradation du taux butyreux du lait, pathologies digestives et métaboliques... L'état d'acidose est également atteint car la sécrétion salivaire qui recycle les tampons ruminaux est insuffisante par rapport aux acides organiques produits par les fermentations. L'état d'acidose est apprécié à travers la mesure du pH de la panse. On estime que le pH moyen au cours d'une journée ne doit pas être inférieur à une valeur approximative de 6,25. Les recherches ont permis de montrer que de nombreuses caractéristiques des rations présentaient une influence sur le pH ruminal. Si on se réfère à la valeur seuil moyenne minimale de 6,25, il est possible de définir des limites pour les différentes caractéristiques mesurées sur les rations. Certaines limites recommandées se présentent sous forme de minima ; ainsi on estime qu'il faut au minimum 35 % de NDF/MS, 25 % de NDF de fourrage/MS, 2,5 mm de taille moyenne des particules de la ration ou 40 % de la MS sous forme de particules de taille supérieure à 2 mm. On sait en outre que l'indice de mastication de la ration doit être supérieur à 40 min/kg MS ingérée. Il existe également des recommandations de seuil maximum à ne pas dépasser. Ainsi la proportion d'aliments concentrés doit rester inférieure à environ 45 %/MS, celle d'amidon à 25 %/MS et celle d'amidon dégradable dans le rumen à 20 %/MS. D'autre part, il est connu que les niveaux élevés d'ingestion vont de pair avec un transit plus rapide et un pH plus faible, ainsi le pH moyen passe en dessous du seuil de 6,25 lorsque la MS ingérée excède environ 2,5 % du poids vif. Enfin les rations peu mastiquées sont ingérées rapidement et sont, de ce fait, acidogènes. On estime ainsi que chez le bovin la vitesse moyenne d'ingestion doit être inférieure à 50 g/min pour que les fermentations ruminales soient normales. En cas de risque avéré d'acidose, il est recommandé d'apporter des substances tampons à la ration, à une dose de l'ordre de 1 à 2 % de la MS ingérée.

En conclusion, il est important de chercher à mieux caractériser les rations et aliments offerts aux ruminants en prenant en compte des critères "sécuritaires" en plus des paramètres classiques de valeur nutritive. Un exemple de méthode de prévision du pH à partir de tels critères est présenté.

Le pH du réticulo-rumen est reconnu depuis plusieurs décennies comme un paramètre physico-chimique essentiel de la digestion et de la nutrition du ruminant. En effet, un faible pH est associé à tout un ensemble d'inconvénients connus d'ordre nutritionnel, pathologique et zootechnique :

- les phénomènes d'acidoses aiguës (pH inférieur à 5,5) et latentes (pH inférieur à 6,25 environ) ;

- les phénomènes d'interaction digestive négative, qui altèrent la digestibilité des parois végétales et induisent une baisse de la valeur énergétique des aliments et des rations, sont associées à des pH trop acides (pH < 6) dans le réticulo-rumen ;

- la qualité des produits, dans la mesure où les baisses du pH ruminal sont associées à des baisses du rapport taux butyreux/taux protéique du lait ;

- le bien être des animaux : lorsqu'il y a acidose latente, on observe fréquemment des comportements de pica et d'agressivité entre les animaux ;

- l'acidose latente entraîne également une baisse et une irrégularité de l'ingestion par les ruminants.

Les inconvénients liés à ces aspects sont plus ou moins importants selon le type de production. En particulier, ils sont bien plus préoccupants chez les femelles (vaches, brebis, chèvres) qui restent plusieurs années dans les élevages.

Quelques revues récentes ont été focalisées sur l'acidose (Owens *et al* 1998) ou sur certaines de ses conséquences pour le bovin en croissance (Nagaraja et Chengappa 1998) ou en lactation (Shaver 1997). Notre travail avait pour objectif de compléter ces études par une

quantification plus systématique des causes et phénomènes impliqués.

Afin de préciser les recommandations préventives des acidoses, l'ensemble des facteurs connus pour être impliqués dans les processus acidogènes du réticulo-rumen sera considéré. Plus précisément, un passage en revue d'une part des effets acidogènes et, d'autre part, des effets neutralisants a été entrepris. Sur chacun des aspects évoqués, le point sera fait sur les mécanismes les plus impliqués quantitativement. Seront ensuite envisagés les moyens et informations à mettre en œuvre pour formuler des régimes en tenant compte des risques liés à l'acidose ruminale.

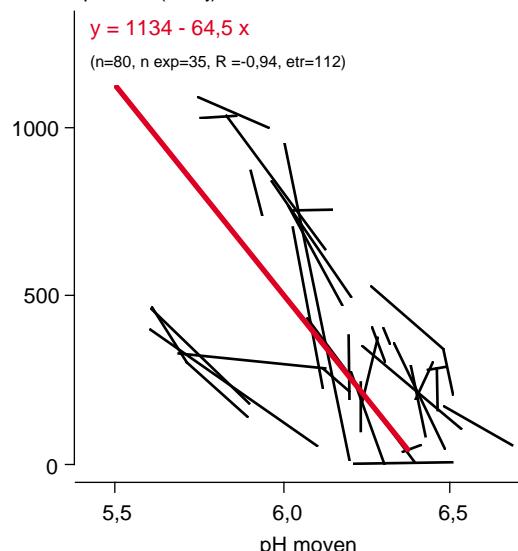
Compte tenu des objectifs du travail, nous avons cherché à privilégier l'interprétation d'une base de données de la digestion du ruminant qui s'appuie sur 223 publications et 945 lots d'animaux expérimentaux. La prise en compte d'une référence dans la base est soumise à un cahier des charges précis sur la nature et la qualité des données. Compte tenu de la répartition hétérogène des données manquantes dans le tableau de base ainsi constitué, il a été nécessaire d'utiliser les méthodes statistiques appropriées aux métanalyses. Ainsi les aspects privilégiés ont été, d'une part, l'étude des relations globales (g) et intra-expérience (i) entre les caractères pris deux à deux et, d'autre part, la recherche de la linéarisation des relations.

1 / Les critères d'évaluation du degré d'acidose ruminale

Dans la production scientifique et technique disponible sur le sujet, le critère d'évaluation du degré d'acidose ruminale est le pH du jus de rumen. Cependant il convient de distinguer l'intervalle de temps pris en compte dans le travail (Rémond *et al* 1995). En effet, la majeure partie des études ne cite

Figure 1. Relation entre le pH ruminal et la durée de pH inférieur à 6.

Durée pH<6,0 (min/j)



qu'une valeur moyenne du pH, considérée sur 24 heures ou sur une partie de la journée. D'autres études se focalisent plutôt sur l'évolution post-prandiale ou nyctémérale du pH pour évaluer la dynamique de la perturbation ruminale.

D'autres critères d'évaluation de l'état d'acidose ruminale que le pH moyen peuvent être envisagés pour être plus précis dans l'appréciation du phénomène. Ainsi, depuis quelques années, des publications évoquent la durée pendant laquelle le pH présente une valeur inférieure à 6, cette valeur étant considérée comme le seuil en dessous duquel la cellulolyse est significativement inhibée (Archimède *et al* 1997). Cette durée pendant laquelle le pH est inférieur à la valeur 6 représenterait en effet un paramètre susceptible de mieux traduire l'irrégularité des fermentations au cours du nyctémère. La figure 1 indique que le pH moyen et la durée de pH inférieur à 6 sont en fait très corrélés ($n=80$, $Rg= -0.57$, $Ri= -0.94$). La régression intra-expérience entre ces deux variables

$[pH < 6] = 1134 - 64.5 [pH]$
($n = 80$, $n_{exp} = 35$, $R = -0.94$, $etr = 112$)
indique que la valeur seuil pour laquelle le pH

Figure 2. Facteurs liés à l'irrégularité des fermentations ruminales.

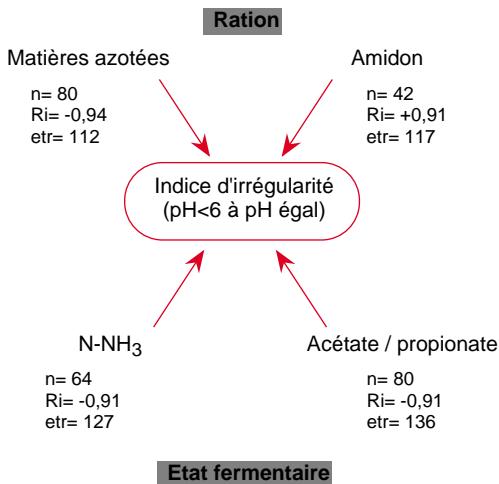
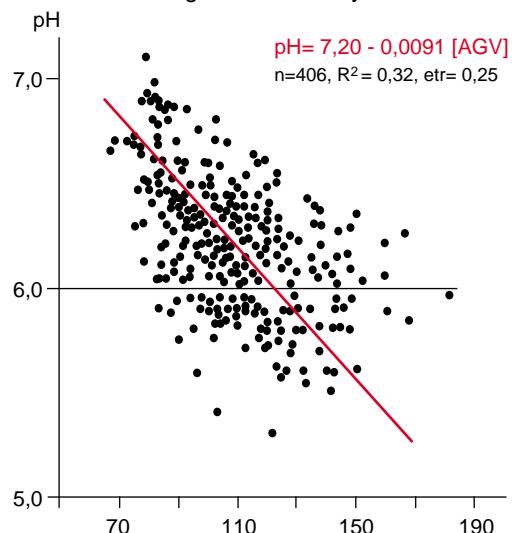


Figure 3. Relation entre le pH ruminal et la teneur en acides gras volatils du jus de rumen.



reste toujours supérieur à 6,0 est $\text{pH} = 6,35 \pm 0,03$. Nous suggérons de prendre une marge de sécurité de 0,1 point pH par rapport à cette valeur et que le seuil minimal du pH moyen admissible soit égal à environ 6,25, ce qui correspond à une durée d'environ 4 heures de pH inférieur à 6. Le choix entre ces deux critères d'acidité, le pH moyen et la durée de pH inférieur à 6 doit être fait en fonction de leurs pouvoirs explicatif et prédictif des inconvénients précités de l'acidose ruminale, à ce jour le nombre et la représentativité des situations disponibles est, à nos yeux, insuffisante pour pouvoir conclure à ce sujet. En fait, à pH moyen égal, la durée du pH inférieur à 6 constitue un indice d'irrégularité. Cette durée varie (e.t. = 244 min) et dépend de certaines caractéristiques de la ration (teneur en azote et en amidon) ou de l'état fermentaire correspondant du rumen (teneur en NH_3 , rapport acétate/propionate). La figure 2 résume ces relations. Les fermentations semblent donc être plus irrégulières, à pH moyen égal, lorsque, d'une part, le régime contient plus d'amidon et que le rapport acétate/propionate est plus faible et, d'autre part, le régime est pauvre en matières azotées et le jus de rumen pauvre en NH_3 .

Certains auteurs ont mesuré spécifiquement le pouvoir tampon du jus de rumen (Bijan *et al* 1969 ; Brugère 1984 ; Le Ruyet *et al* 1992). Cependant les données sont trop éparses pour permettre d'en dégager des lois générales sur les effets des régimes alimentaires. Par contre, à partir des données de la littérature, on peut chercher à discriminer l'état d'acidose ruminale du pouvoir tampon du rumen. La figure 3 montre qu'une relation négative évidente associe le pH ruminal à la concentration des acides gras volatils (AGV) dans le rumen. Cette figure montre également que, pour une même teneur en AGV du jus de rumen, il existe de larges variations de pH mesuré, ce phénomène étant plus marqué lorsque les teneurs en AGV sont importantes. Sur la base d'une telle relation, il est possible de séparer un " degré d'acidité ruminal " (= relation affine négative entre pH et AGV) d'un " pouvoir tampon ruminal ". Ce dernier exprime qu'à même teneur en AGV, le pH est plus ou moins important. Concrètement cette segmentation peut être obtenue en effectuant d'abord une régression du pH en fonction de la teneur en AGV (mmol/l) :

$$\text{pH} = 7,20 - 0,0091 \text{ [AGV]} \\ (n = 406, R^2 = 0,32, \text{etr} = 0,25)$$

Cette régression permet de dégager une variation résiduelle non expliquée qui peut être considérée comme un indicateur du pouvoir tampon ruminal (PT, moyenne = 0, e.t. = 0,25). Nous avons cherché à relier ces deux composantes d'acidité et de pouvoir tampon à différents paramètres digestifs ou alimentaires. Ainsi la teneur en amidon du régime n'est pas liée à la composante d'acidité ($n = 122$, $R_g = 0,17$) alors qu'elle est négativement liée ($R_g = -0,47$, $R_i = -0,96$, $\text{etri} = 0,20$) au pouvoir tampon ruminal. Il est possible de combiner plusieurs variables pour mieux expliquer ce pouvoir tampon (PT), par exemple l'équation " intra " suivante :

$$\text{PT (N 0,1)} = 0,15 - 0,011 \text{ [AMIDON, \%MS]} + 0,0014 \text{ [NH}_3, \text{mg/l]}$$

($n = 120$, $\text{nexp} = 49$, $R = 0,98$, $\text{etr} = 0,19$) qui confirme les rôles défavorables de l'amidon et favorable de l'ammoniogénèse vis-à-vis du pouvoir tampon et de la stabilité des fermentations ruminale. A propos de l'ammoniogénèse, la dégradation des acides aminés favoriserait le pouvoir tampon ruminal en raison des ions carbonates libérés lors de ce processus plus qu'en raison de la libération d' NH_3 qui n'a qu'un rôle tampon négligeable aux valeurs de pH considérées.

2 / Les principaux effets acidogènes dans le rumen

2.1 / Approche statique

a / Les composants chimiques organiques des aliments

Le phénomène acidogène de base est directement lié à la fermentation de la matière organique ingérée appelée MOF (Vérité *et al* 1987). Ce processus fermentaire produit des gaz, des acides gras volatils ainsi que des corps microbiens synthétisés notamment à partir d'éléments carbonés et azotés et des ATP formés lors des fermentations. On estime que pour 100 moles de C (soit environ 2,5 kg de MOF), sont formés en moyenne 20 moles de C de matière organique microbienne, 20 moles de C de gaz et 60 moles de C d'AGV. Cette dernière valeur correspond à environ 23 moles ou 1,56 kg d'AGV. D'après notre base de données, les quantités d'AGV qui seraient ainsi produites par kg de MSI seraient de $340 \pm 72 \text{ g/kg MSI}$ sur la base des quantités de MOF mesurées *in vivo* par des bilans digestifs duodénaux.

Il faut chercher à préciser la contribution des différentes composantes de la MOF au processus acidogène ruminal. Ce sont bien entendu les glucides qui sont les principaux composants en cause et en fait essentiellement les glucides des contenus cellulaires (voir plus loin les aspects dynamiques). Le rôle des autres constituants de la MOF est moins bien connu et est parfois considéré comme négligeable. En effet, les lipides sont hydrolysés, mais les acides gras ainsi libérés ne semblent pas être eux-mêmes hydrolysés d'une façon suffisamment importante pour contribuer au pouvoir acidogène des rations. D'autre part, les protéines sont susceptibles de libérer des acides gras volatils lorsque la dégradation va jusqu'au stade de la désamination. Cependant, ce processus libère également des éléments neutralisants comme cela a déjà été évoqué.

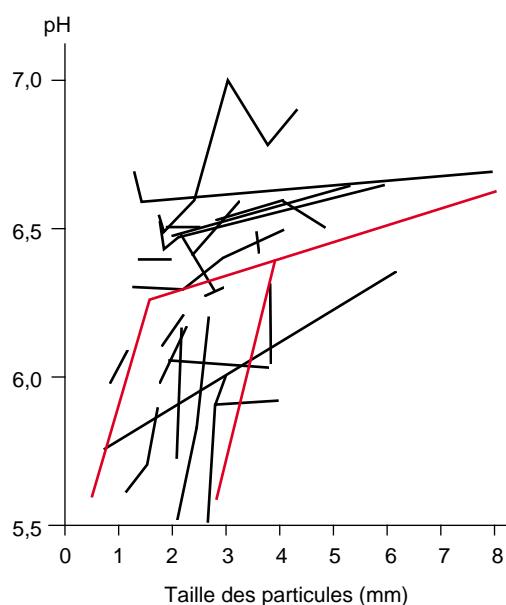
Il importe de signaler que différentes études ont cherché à prédire par approche *in vitro* le pouvoir acidogène des aliments (Malestein *et al* 1984). Même si toutes les composantes de ce pouvoir acidogène ne sont pas établies, il existe un effet spécifique du type d'ingrédient (Michalet-Doreau, et Sauvant 1989, Giger-Reverdin et Sauvant 1998) qui doit être largement dû à ses caractéristiques de composition chimique.

On estime que l'état d'acidose latente est atteint lorsque le pH ruminal moyen au cours d'une journée est inférieur à 6,25.

b / La présentation des aliments et des rations

La réduction de la taille des particules par broyage d'un aliment ou d'une ration accroît souvent de façon importante le rapport entre la masse du substrat et sa surface disponible pour la fixation et l'attaque microbienne. De plus, elle "déchire" une proportion accrue de structures cellulaires. Il en résulte une accélération des processus fermentaires et, par voie de conséquence, une acidose ruminale plus marquée. En pratique, la relation entre le pH et la taille moyenne des particules du régime n'est pas linéaire (figure 4). D'après cette figure, les variations de la taille des particules n'auraient pas d'influence majeure pour des conditions ruminale de pH supérieures à 6,25 environ et pour des tailles moyennes de particules supérieures à 4 mm environ. Par contre, lorsque le pH se situe en dessous de 6,25, il apparaît des chutes très marquées du pH pour de faibles variations de la taille des particules.

Figure 4. Influence de la taille des particules sur



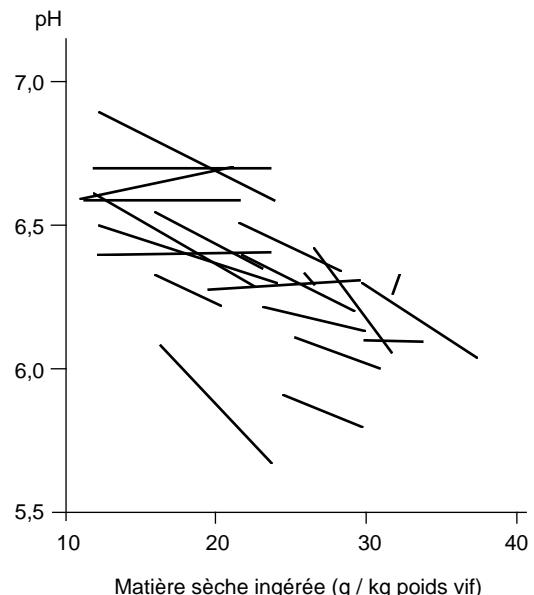
c / L'ingestion d'ensilage

La conservation par ensilage se fait grâce à une acidification du milieu à un pH recommandé inférieur à 4,2. La teneur en acides organiques de l'ensilage (lactique et acétique principalement) est très variable en fonction des conditions de conservation : de 300 à plus de 1000 mM/kg MSI (Dulphy et Demarquilly 1981). Ces valeurs correspondent à peu près à 10 % des AGV qui sont produits par le même ensilage au cours de sa digestion ruminale.

d / Le niveau d'ingestion

Indépendamment de la composition et de la présentation du régime, un accroissement du niveau d'ingestion d'une ration entraîne systématiquement une baisse du pH ruminale (figure 5). D'après ces données, cette baisse est de $0,14 \pm 0,04$ point pH/(10 g MSI/kg PV). Ce résultat s'explique par le fait que l'accroissement du niveau d'ingestion amène le rumen à

Figure 5. Relations entre le pH ruminale et le



Tout ce qui accélère le transit dans le rumen : faible taille des particules, vitesse d'ingestion élevée... augmente les risques d'acidose.

" traiter " des quantités plus importantes de contenus cellulaires alors que son volume ne s'accroît pas en proportion et que la digestion des constituants pariétaux diminue en raison d'un transit plus rapide.

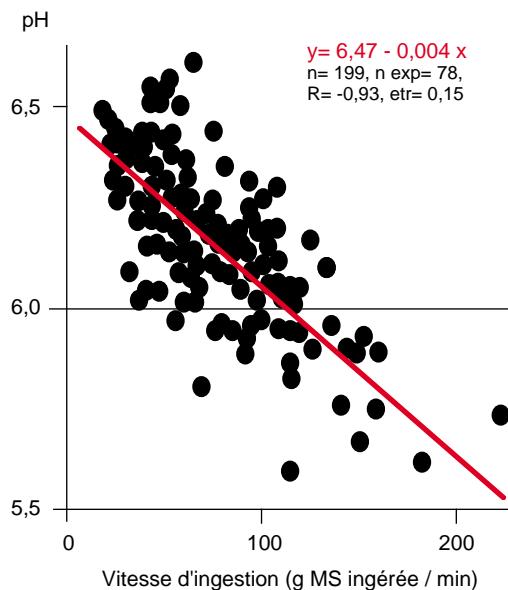
2.2 / Aspects dynamiques

Les aspects dynamiques de la digestion ruminale ont été présentés par Sauvant et Van Milgen (1995) dans cette même revue. Dans cette partie, seuls les aspects spécifiques au phénomène acidogène seront donc évoqués.

a / Dynamique de l'ingestion

Pour une ration donnée et un type d'animal déterminé, la dynamique de l'ingestion a une influence non négligeable sur les perturbations fermentaires ruminale et, de ce fait, sur le pH. Plusieurs études ont ainsi montré que

Figure 6. Relation entre le pH ruminale et la vitesse d'ingestion chez le bovin.

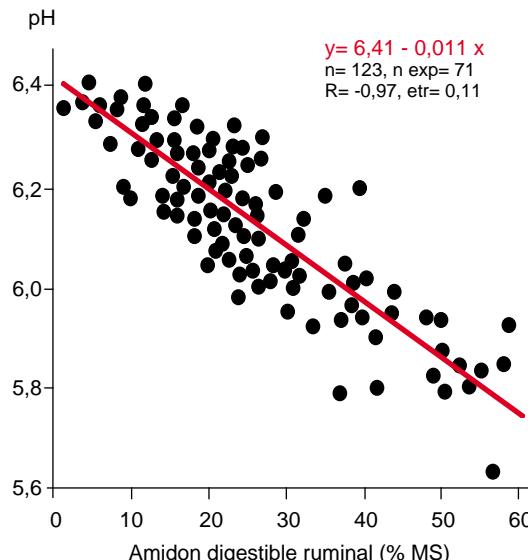


l'accroissement de la fréquence des repas permettait de réduire les "à-coups fermentaires ruminaux" et de régulariser ainsi le pH autour de valeurs considérées comme normales, c'est-à-dire comprises entre 6 et 6,5 (Kaufman 1976, Bragg *et al* 1986). Dans un même ordre d'idée, la vitesse d'ingestion des rations, qui détermine la vitesse d'entrée des substrats dans le rumen, a une influence significative sur le degré d'acidose. La figure 6 résume les données que nous avons pu recueillir dans la littérature sur ce sujet dans le cas des bovins. D'après cette relation, le pH diminue de 0,04 point lorsque la vitesse d'ingestion s'accroît de 10 gMS/min. L'effet observé résulte de la vitesse d'ingestion, elle-même liée au niveau d'ingestion de MS, à la proportion de concentré et à la vitesse de digestion des substrats (cf. ci-dessous). D'autres données, moins nombreuses, confirment cette tendance dans le cas des ovins et des caprins.

b / Dynamique de la digestion

L'implication des différents glucides dans les processus acidogènes est très variable. En effet, les sucres et les pectines sont digérés rapidement (en moins d'une heure) et présentent de ce fait un pouvoir acidogène à court terme important, alors qu'à l'opposé les polysaccharides des parois végétales (cellulose et hémicellulose) se dégradent lentement et fournissent de ce fait les protons d'une manière chronique, et donc peu acidogène, au contenu ruminal. La contribution de l'amidon du régime au pouvoir acidogène des rations dépend à la fois de son importance quantitative et de sa vitesse de dégradation. La figure 7 montre ainsi qu'une relation étroite associe le pH du réticulo-rumen à la teneur en amidon dégradable dans le rumen de la MS des rations. Cette teneur dépend en effet du produit de la teneur en amidon des régimes par sa digestibilité ruminale, c'est-à-dire plus précisément sa vitesse de digestion ruminale (Sauvant *et al* 1994). Cette figure confirme donc que les amidons "lents" peuvent être considérés comme des éléments sécurisants vis-à-vis de l'acidose ruminale (Sauvant 1997).

Figure 7. Relation entre le pH ruminal et la teneur de la ration en amidon digestible ruminal.



3 / Les effets neutralisants

Deux grandes catégories d'effets neutralisants de l'acidose ruminale peuvent être considérées. Il s'agit de phénomènes de régulation des flux de protons, des variations de la stoechiométrie des acides et, d'autre part, d'effets liés à la présence de substances capables de capter des ions ou de neutraliser des protons issus des fermentations.

3.1 / Les régulations des flux de protons

a / "L'amortissement" de la production

Certaines substances qui contribuent a priori largement au processus d'acidogénèse ruminal voient leur fermentation "amortie" par un processus de "délai". C'est particulièrement le cas de l'amidon qui est stocké en partie, et de façon très rapide après un repas, au sein des cellules microbiennes, des protozoaires en particulier (Jouany et Thivend 1972). Ce processus permet de retarder en moyenne de 7 à plus de 10 heures le processus fermentaire des amidons ainsi stockés (Sauvant et Van Milgen 1995).

b / L'absorption des AGV

Le processus d'absorption constitue la principale voie de sortie des AGV, donc des protons, hors du réticulo-rumen (70 à 80 % du flux de sortie). Il a été montré que ce flux d'absorption était pH-dépendant. En effet, lorsque le pH est faible, le degré de dissociation des AGV diminue et ces derniers sont absorbés plus rapidement sous leur forme acide, cet effet étant plus marqué pour les AGV les plus longs. Ce phénomène est connu depuis assez longtemps, il a été quantifié par Dijkstra *et al* (1993).

c / Le transit

Les AGV sont présents dans la phase liquide du réticulo-rumen. En conséquence, ils sont en partie (20 à 30 %) éliminés par passage dans la suite du tube digestif. Ils sont alors principalement absorbés dans le feuillet. Ce phénomène est plus marqué en phase d'ingestion du grand repas (Baumont, 1989), ce qui anticipe un peu sur l'accumulation des AGV qui intervient dans les 2-3 heures après le repas.

La teneur en amidon digéré dans le rumen ne doit pas excéder 20 % de la MS de la ration.

d / L'adaptation de la stoechiométrie des fermentations

La stoechiométrie des AGV est liée au pH du milieu ruminal (Kaufman et Hagemeister 1969, Archimède *et al* 1997). Lorsque le pH diminue, c'est-à-dire que la concentration des protons augmente, les acides formés ont une chaîne carbonée plus longue (propionate, en C3, ou butyrate en C4 plutôt qu'acétate, en C2), c'est-à-dire un rapport H^+/C plus faible. Ce phénomène permet, dans le cas de rations facilement fermentescibles ou ingérées rapidement, de stocker une quantité plus impor-

tante de carbone d'AGV, donc d'énergie, dans le rumen sans trop altérer la variation du pH. Il convient cependant de signaler que ce principe reste valable tant que la teneur en acide lactique du jus de rumen reste faible.

3.2 / L'apport de substances à effet tampon

a / Le pouvoir tampon intrinsèque des aliments et des rations

Les aliments ingérés présentent différentes caractéristiques qui sont susceptibles de modifier leur pouvoir tampon intrinsèque (Giger-Reverdin et Duvaux-Ponter 1998). Il s'agit en particulier de leurs teneurs naturelles en carbonates et en phosphates. D'autres constituants peuvent également être doués d'une capacité d'échange d'ions non négligeable. C'est par exemple le cas des constituants pariétaux du régime. Ce dernier aspect, mis en évidence il y plus de dix ans par Van Soest, mériterait sans doute d'être reconstruit. Rappelons enfin que la dégradation des protéines des aliments produit également des ions carbonates lorsque la protéolyse va jusqu'au stade de la désamination.

b / L'apport de substances tampons

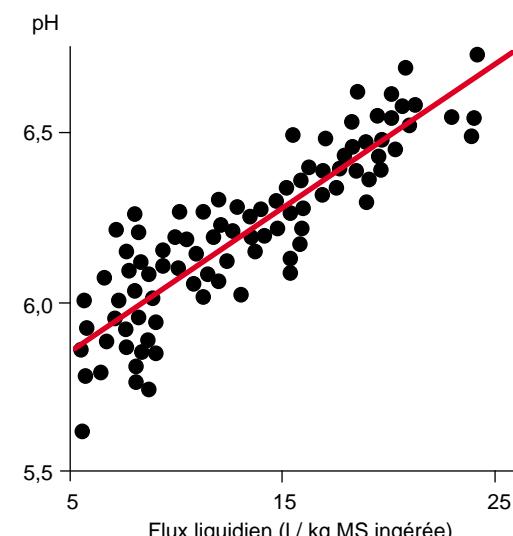
Il est également possible d'apporter des substances tampons spécifiques, par exemple du bicarbonate, pour chercher à contrôler le pH ruminal (Erdman 1988, Meschy et Bravo 1998). Ces apports s'avèrent être efficaces à des doses de 1 à 2 % de la matière sèche ingérée.

c / Le recyclage physiologique des tampons

Flux salivaire et de liquide ruminal

Le flux de salive permet de fournir la plus grande quantité de substances tampons au réticulo-rumen. Celles-ci sont à des concentrations ruminale de l'ordre de 15 à 25 meq/l de tampon phosphate et surtout de 5 à 60 meq/l de carbonate (Rémond *et al* 1995). La

Figure 8. Relation entre le pH ruminal et le flux de liquide ruminal.



salive est produite de façon continue (50 à 120 ml/min chez le bovin, Erdman 1988) avec des flux accrus lorsque l'animal mastique son repas ou rumine (200-250 ml chez le bovin). Quelques études, en particulier celle de Jacques *et al* (1989), ont révélé une bonne relation entre la production de salive et le flux de liquide sortant du réticulo-rumen. Cette relation est très importante car de nombreux résultats sur les flux de liquide sortant du rumen ont été publiés. Dans la base que nous avons élaborée, nous disposons ainsi de 247 résultats de flux liquidien ruminale et avons déjà fait connaître une partie de leur interprétation (Sauvant et Mertens 1998). La moyenne de ce flux est de 167 l/j chez le bovin, avec de larges variations autour de cette valeur (écart type de 72 l/j). Il nous a semblé opportun de chercher à exprimer ce flux par kg de MSI. Son étendue est importante puisqu'elle va de moins de 5 l/kg MSI jusqu'à plus de 20 l/kg MSI. La figure 8 révèle la relation étroite qui associe le pH du réticulo rumen à ce flux liquidien par kg de MSI. Cette relation indique en particulier que la zone de "pH normal", que l'on peut situer aux alentours de 6,3-6,5, correspond à un flux liquidien d'environ 15 à 17 l/kg de MSI chez les bovins. Cette figure montre que le recyclage des tampons deviendrait nettement insuffisant lorsque le flux liquidien est inférieur à 8-10 l/kg MSI. Ce flux liquidien est d'autant plus important que l'indice de mastication est élevé, c'est-à-dire que la ration est riche en fourrage, ou en fibre, ou en particules de grosse taille. D'autre part ce flux est plus faible chez les animaux présentant un niveau d'ingestion plus élevé de MS, c'est-à-dire un niveau de performance plus important. Pour ces mêmes raisons, lorsque seules les données relatives aux vaches laitières sont considérées, une relation négative assez étroite associe le niveau de production laitière avec le flux liquidien par kg MSI et de ce fait le recyclage des tampons par kg MSI.

A partir de la connaissance de la relation entre les flux de salive et de liquide ruminal et de la concentration de bicarbonate dans la salive, il est possible de faire une estimation approximative du recyclage salivaire des carbonates. A partir de notre base de données, ce recyclage serait de $20,1 \pm 7,1$ g/litre de contenu ruminal, ou $1,36 \pm 0,58$ kg/jour ou $106,3 \pm 34,6$ g/kg de MSI. Il convient de remarquer que ces quantités sont bien plus importantes que celles qui peuvent être ajoutées à la ration.

La disparition des tampons du rumen

Le pouvoir tampon du réticulo rumen peut également être altéré par la sortie des carbonates et des phosphates. La disparition de ces couples se fait par voie d'absorption ou de transit dans la phase liquide. Peu de données quantitatives semblent exister à ce sujet dans la littérature. Dans le cas des carbonates, il existe un autre "puits" lié au fait que le CO_2 présent dans le jus de rumen peut soit être transformé en CH_4 par les bactéries méthanogènes, soit être rejeté sous forme de CO_2 gazeux. Ce dernier aspect est quantitativement plus important lorsque le pH ruminal est plus faible, c'est-à-dire pendant les phases post-prandiales. C'est vraisemblablement pour cette raison que les gaz éructés par les

ruminants présentent un rapport CO_2 sur CH_4 bien plus important pendant les phases post-prandiales (Vermorel 1995).

4 / Les réponses du pH ruminal aux caractéristiques des rations

Dans le but de formuler des rations permettant de s'assurer d'un minimum de sécurité vis-à-vis des risques d'acidose, il est nécessaire de chercher à dégager les réponses du pH ruminal aux caractéristiques les plus courantes et mesurables des régimes alimentaires. Un problème fréquemment rencontré concerne le fait que les réponses du pH aux variations des caractéristiques des rations ne sont pas linéaires. En outre, la variabilité importante des résultats obtenus entre les différentes expérimentations publiées ne permet pas d'aboutir à des valeurs précises de recommandations.

Dans cette partie, nous cherchons à établir des relations entre le pH ruminal moyen et les caractéristiques alimentaires les plus simples et les plus connues pour l'expliquer et le prédir. Chaque relation est étudiée et la valeur minimale de pH de 6,25 évoquée plus haut est utilisée pour repérer la valeur seuil correspondante de la caractéristique alimentaire.

4.1 / Réponses aux variations des caractéristiques chimiques des régimes

a / Les caractéristiques de teneurs en fibres

Différentes analyses chimiques peuvent être appliquées pour quantifier la teneur en "fibres chimiques" des régimes alimentaires des ruminants. Dans ce domaine, ce sont les critères analytiques de Van Soest qui se sont largement imposés vis-à-vis de l'ancien critère utilisé, la cellulose brute (Mertens 1997). Parmi ces cri-

tères, le plus fréquemment utilisé est le NDF (fibre au détergent neutre), qui est une estimation empirique de la teneur en parois végétales du régime. La figure 9 révèle une réponse non linéaire du pH aux variations des teneurs en NDF des régimes. Le seuil minimal moyen est de l'ordre de 35 % de la MS sachant que les résultats de la figure 9 indiquent que cette valeur peut se situer entre 30 et 40 % de la MS. Si on considère la teneur en ADF (fibre au détergent acide) la réponse globale présente la même allure et le seuil minimal est de l'ordre de 20 %, avec une incertitude que l'on peut situer entre 15 et 25 % de la MS.

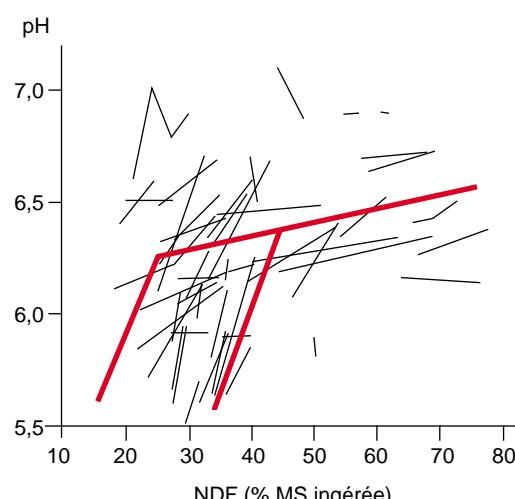
b / La teneur en contenus cellulaires

La teneur en contenus cellulaires totaux présente a priori le même pouvoir prédicteur que la teneur en NDF puisqu'elle est estimée par la différence 100-NDF. Cependant, certains constituants spécifiques des contenus cellulaires peuvent être intéressants à connaître, en particulier l'amidon. D'après nos résultats, il conviendrait de ne pas dépasser une teneur en amidon de 25 % de la MS. Cependant l'incertitude autour de ce seuil est très large puisqu'elle se situe au moins entre 15 et 35 % de la MS. La teneur en amidon ne présente donc pas beaucoup d'intérêt en formulation pour prédire le pH ruminal. Ce résultat incite à mieux caractériser l'amidon du régime ingéré. Il est possible d'être plus précis en utilisant comme prédicteur la teneur en amidon digestible ruminal. La figure 7 suggère que le seuil maximum de la teneur en amidon digestible du régime serait de l'ordre de 20 % de la MS avec une fourchette allant de 10 à 30 %. Bien entendu, ce paramètre est actuellement très difficile à mesurer puisqu'il nécessite l'emploi d'animaux porteurs de canules duodénales. Il est néanmoins possible de prédire l'amidon digestible ruminal à partir de sa dégradabilité *in situ* (Sauvant *et al* 1994). On peut par ailleurs penser pouvoir disposer dans quelques temps de tests plus simples de laboratoire permettant de prédire cette fraction d'amidon digestible dans le réticulo-rumen.

4.2 / Réponses aux variations des paramètres physiques

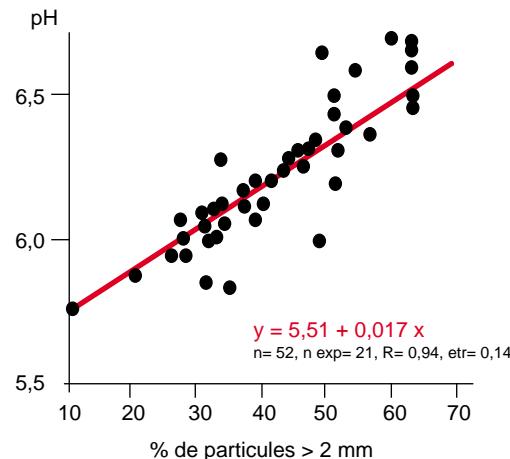
Les particules alimentaires doivent être réduites par la mastication en une mouture fine (passant à travers des mailles de 1 mm pour les ovins et de 2-3 mm pour les bovins) pour pouvoir transiter vers l'intestin. En conséquence, la durée de mastication, donc l'insalivation, sont influencées par la taille des particules du régime offert. Les données de la figure 4 suggèrent que la taille moyenne des particules d'une ration doit être supérieure à 2,5 mm sachant que l'incertitude sur ce critère est grande puisqu'elle se situe entre 1,5 et 4,0 mm. Cette taille moyenne des particules du régime constitue le critère le plus utilisé pour caractériser le contenu en "fibres physiques" des aliments et des rations. D'autre part, le pH ruminal serait moins sensible à la taille des particules lorsque les autres paramètres alimentaires font que sa valeur se situe aux alen-

Figure 9. Influence de la teneur du régime en NDF sur le pH ruminal.



tours de 6,5. D'autres paramètres ont été proposés pour mieux quantifier la part des particules qui font effectivement mastiquer, donc saliver, les animaux. Ainsi, plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser comme critère explicatif et prédictif la proportion de particules ne passant pas à travers un tamis dont les mailles ont un diamètre de 2 mm. La figure 10 confirme en effet l'existence d'une relation plutôt satisfaisante entre le pH et la proportion de ces particules de grosse taille. D'après cette figure, la recommandation serait que le régime contienne au moins 40 % de la MS sous forme de particules de taille supérieure à 2 mm pour maintenir un pH ruminal suffisant, la fourchette étant de 35 à 45 %.

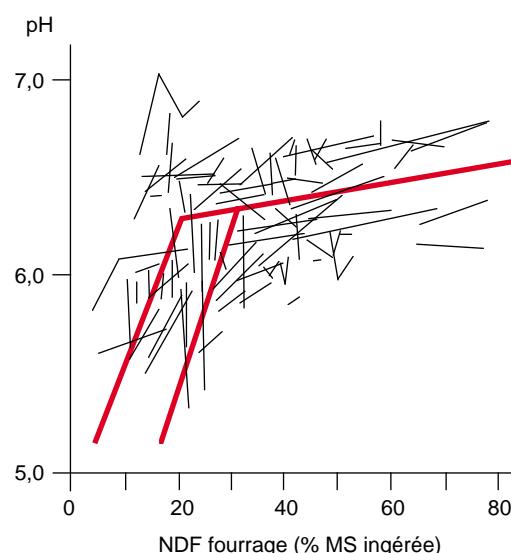
Figure 10. Influence de la proportion de particules de taille supérieure à 2 mm sur le pH



4.3 / Réponses aux paramètres chimiques et physiques associés

Depuis quelques années, il a été suggéré outre Atlantique de tenir compte de la teneur en NDF de la ration provenant du fourrage. Ce paramètre présente a priori l'intérêt d'intégrer des composantes physiques et chimiques de la fibrosité. La figure 11 suggère que, pour le maintien du pH, la teneur minimale en NDF

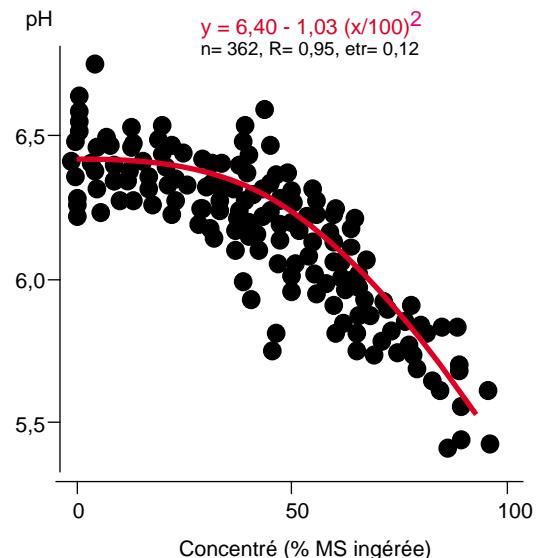
Figure 11. Relations entre le pH ruminal et la



La proportion de concentré dans la ration permet d'établir une première équation de prédiction approximative du pH ruminal.

provenant du fourrage devrait être de l'ordre de 25 % de la MS avec une incertitude de cette valeur allant de 20 à 30 % de la MS.

Figure 12. Relation entre le pH ruminal et la pro-

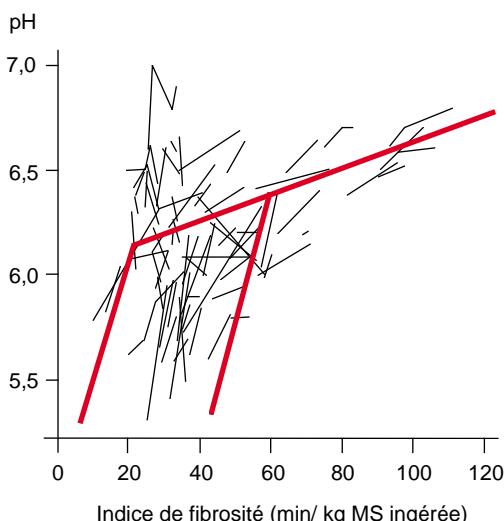


La proportion d'aliments concentrés dans le régime constitue un critère synthétique simple intégrant des variations positivement liées de la fibre chimique et de la fibre physique. En conséquence, la relation intra-essai entre pH et proportion de concentré est assez étroite (figure 12) et indique qu'au-delà d'un seuil de 40 % de la MS, le pH devient trop faible, cependant, là encore, les résultats sont très largement dispersés puisque les variations autour de cette valeur s'étendent d'un peu plus de 20 % de la MS à près de 60 % de la MS.

4.4 / Les indices de mastication

De nombreuses études ont pris en compte la mesure des durées de mastication des rations. En outre, il a été suggéré depuis longtemps de formuler les rations sur la base des valeurs des indices de mastication (ou indice de fibrosité ou durée unitaire de mastication),

Figure 13. Relation entre le pH ruminal et l'indice de fibrosité du régime.



c'est-à-dire des durées de mastication nécessaires par kg de MS ingérée (Sauvant *et al* 1990). La figure 13 confirme l'existence d'une relation entre pH et indice de mastication. Il semblerait que le seuil minimal de cet indice se situerait aux alentours de 40 min/kg MSI avec cependant des valeurs extrêmes allant de 20 à 60 min. A ce jour, il n'existe pas de système de formulation fiable qui puisse être basé sur les indices de mastication en particulier en raison d'un manque d'additivité des unités utilisables (Sauvant *et al* 1990).

4.5 / Comparaison de la précision des différents prédicteurs

La figure 14 indique les valeurs des écarts types résiduels obtenus pour les différents prédicteurs du pH ruminal. Il apparaît que les critères liés à la ration qui viennent d'être évoqués n'ont pas la même précision puisque l'ETR varie de moins de 0,10 à plus de 0,15 point pH. Parmi ces différents critères, il convient de souligner l'intérêt de la proportion de concentré dans le régime notamment quand on intègre uniquement les 119 résultats correspondant à des régimes où le facteur expérimental était spécifiquement la proportion de concentré. La figure 14 indique que les critères de fibres physiques seuls sont assez peu précis. Une des raisons majeures de ce résultat est sans doute lié au fait que les critères de mesures des fibres physiques évoqués plus haut varient assez largement d'un laboratoire à l'autre. On peut espérer une meilleure précision lorsque la méthode de mesures sera plus universalisée.

4.6 / Linéarisation des relations et formulation

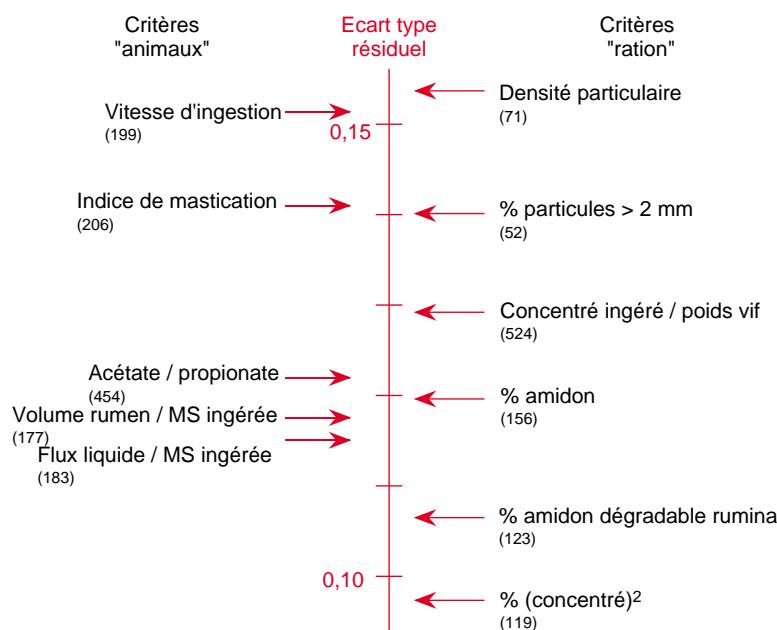
Pour la formulation des régimes alimentaires, il est nécessaire de pouvoir s'appuyer sur des relations linéaires entre les unités prédictives et les réponses nutritionnelles et zootechniques. En conséquence, il est nécessaire de transformer les variables évoquées ci-dessus pour lesquelles la variation du pH révèle un seuil. Nous proposons donc de prédire le pH ruminal en deux étapes successives.

L'étape 1 consiste à prédire le pH de façon approximative à l'aide d'une équation globale, appuyée sur de nombreuses données, et à partir des niveaux d'ingestion de fourrage (FO, % du poids vif) et du concentré (CO, % du poids vif)

$$\text{pH} = 6,54 - 0,054 \text{ FO} - 0,18 \text{ CO} \\ n = 527, \text{ Rg} = 0,42, \text{ etr} = 0,28$$

L'étape 2 consiste à appliquer des équations marginales qui viennent corriger et préciser la valeur de pH obtenue avec l'équation précédente. Dans le but de faciliter la formulation des régimes, il est nécessaire d'utiliser des équations de correction linéaires. En conséquence, il est nécessaire de modifier l'expression des variables, pour lesquelles la variation avec le pH révèle un seuil. Par exemple le NDF doit être exprimé en \log_{10} ($\log_{10} \text{NDF} = 1,57 \pm 0,13$) pour aboutir à une relation linéaire qui puisse être appliquée

Figure 14. Précision comparée de la prédiction du pH ruminal.



pour fournir un correctif (ΔpH) à l'équation précédente

$$\Delta \text{pH} = 0,60[\log_{10} \text{NDF} - 1,57] \\ (n = 484, \text{ etr} = 0,13)$$

Sur des nombres d'observations plus faibles, il a été possible de transformer la taille moyenne des particules (cf figure 4) en son inverse, la densité particulaire ($DP = 0,42 \pm 0,22 \text{ mm}^{-1}$) dont la relation avec le pH est linéaire.

$$\Delta \text{pH} = -0,06 (DP - 0,42) \\ (n = 71, \text{ etr} = 0,15)$$

Pour la teneur en amidon dégradable dans le rumen (AMDR, % MS) du régime, il n'est pas besoin d'effectuer une linéarisation.

$$\Delta \text{pH} = 0,12 (\text{AMDR} - 17,2) \\ (n = 117, \text{ etr} = 0,10)$$

D'autres corrections peuvent être envisagées, par exemple en fonction de l'apport de bicarbonates dans la ration (Meschy et Bravo 1998).

Ces corrections marginales sont supposées être additives les unes aux autres. Par exemple, pour un bovin ingérant une ration constituée de fourrage et de concentré ingérés respectivement à 2,0 et 1,1 % du poids vif, l'étape 1 aboutit à un pH probable de 6,23. Si on dispose en outre de la teneur en NDF du régime (30 % MS), le pH ruminal probable est de 6,18. Enfin, si la taille des particules du régime est en moyenne de 4 mm ($DP = 0,25 \text{ mm}^{-1}$), le pH probable devient égal à 6,21 (moyenne de 6,18 et 6,24).

Cette approche, qui peut s'appliquer aux résultats du logiciel INRAtion, permet donc d'aboutir, dans le cas de repas peu fréquents (2 à 3 par jour), à des valeurs probables de pH selon un degré de fiabilité dépendant du nombre de critères prédictifs pris en compte.

La valeur de pH obtenue peut être ensuite située par rapport à une échelle simple du type

$\text{pH} \geq 6,5$: le rumen fonctionne de façon optimale

On améliore ensuite la prédiction en intégrant les corrections marginales pour tenir compte des autres facteurs lorsqu'ils sont connus : teneur en NDF, taille des particules, etc.

$6,5 \geq \text{pH} \geq 6,25$: le troupeau est en acidose légère, il convient de veiller aux vaches les plus fortes productrices

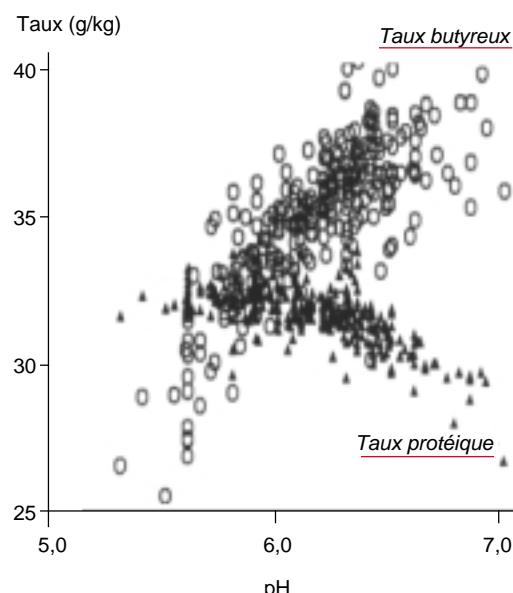
$6,25 \geq \text{pH} \geq 6,0$: la ration entraîne des phénomènes d'interaction digestive et les animaux les plus forts producteurs sont en acidose latente

$\text{pH} \leq 6,0$: le troupeau est en acidose latente, il est nécessaire d'intervenir pour tenter de " remonter " le pH et de faire attention aux animaux forts producteurs.

5 / pH ruminal et réponses zootechniques des vaches laitières

Etant donné que les facteurs de variation alimentaire du pH ruminal sont connus pour être très liés à certaines caractéristiques zootechniques (Journet 1988), il est apparu intéressant de chercher les valeurs de pH associées à la maximisation des différentes composantes des réponses. En pratique, les résultats obtenus sur bovins en croissance sont insuffisants en nombre pour permettre d'appliquer une interprétation systématique. Cependant il est connu que les rations les plus énergétiques induisent une meilleure croissance mais également une acidose ruminale conséquente. Dans le cas des ruminants en lactation, le nombre de données disponibles n'est significatif que pour les vaches laitières. Bien entendu, dans l'interprétation de ces résultats, il convient de garder à l'esprit que le pH n'est pas forcément le facteur causal direct des phénomènes observés.

Figure 15. Relations entre le pH ruminal et les taux butyreux et protéique du lait.



Il apparaît que les valeurs de pH associées aux valeurs maximales du taux butyreux du lait sont assez élevées, de l'ordre de 6,7 (figure 15). Par contre, les valeurs moyennes de pH maximisant la production de matières grasses sont plus faibles (environ 6,0). D'autre part, les valeurs qui correspondent au maximum de la teneur du lait en protéines sont nettement plus faibles, de l'ordre de 5,8 (figure 15), sachant qu'elles sont encore plus basses pour le maximum de production de protéines (environ 5,3) et de production laitière (environ 5,1). Ces résultats montrent que l'application stricte des recommandations évoquées ci-dessus pour éviter une acidose ruminale dangereuse ne permettent de maximiser que les teneurs et productions de matières grasses dans le lait, ce qui, sauf exception, ne constitue pas actuellement un objectif majeur. Par contre, la maximisation de la sécrétion des protéines, qui constitue de plus en plus un objectif, va de pair avec des conditions d'alimentation franchement acidogènes au niveau ruminal. Ces résultats militent fortement pour chercher à bien définir les aliments que l'on combine dans un régime pour éviter la chute du pH ruminal.

Conclusion

Les potentiels de performances atteints par les ruminants d'élevage et certains objectifs actuels de la production et de la qualité des produits sont en contradiction avec une digestion ruminale normale et sécuritaire. C'est l'acidose qui est le principal révélateur de cette contradiction. Ce texte montre que l'état d'acidose ruminale résulte d'un ensemble compliqué d'influences de facteurs acidifiants et neutralisants. Les principaux facteurs impliqués sont bien connus et cet article fournit les principales équations permettant de définir les niveaux de ces facteurs recommandés pour contrôler le pH au sein de valeurs normales. Les rôles de facteurs longtemps considérés comme secondaires, voire négligeables, ont été précisés. Des nouveaux critères d'évaluation de l'état d'acidose (durée de $\text{pH} < 6$, pouvoir tampon...) ou de la fibrosité des rations (densité particulaire, % de particules > 2 mm, NDF du fourrage...) sont apparus au cours des dernières années. Cet article montre que leur prise en compte peut être intéressante et des "valeurs repères" sont indiquées. Ainsi la distinction entre un pH moyen et l'irrégularité des fermentations, ou le pouvoir tampon, a permis de mettre en évidence un rôle spécifique des fractions protéiques et amyloacées des aliments et des rations.

Cet ensemble de connaissances peut être utilisé pour tenter d'aboutir à des modèles de prédiction du pH ruminal.

Références

Archimède H., Sauvant D., Schmidely P., 1997. Quantitative review of ruminal and total tract digestion of mixed diet organic matter and carbohydrates. Reprod. Nutr. Dev., 37, 173-189.

Baumont R., 1989. Etat de réplétion du réticulo-rumen et ingestion de fourrages. Thèse Doc. INA-PG, Paris, 160 p.

- Bijan E., Lawlor M.J., Mc Aleese D.M., 1969. The rumen buffering system of sheep fed pelleted roughage-concentrate rations. *Br. J. Nutr.*, 23, 805-811.
- Bragg S.A., Murphy M.R., Davis C.L., 1986. Effect of source of carbohydrates and frequency of feeding on rumen parameters in dairy steers. *J. Dairy Sci.*, 69, 392-402.
- Brugère H., 1984. Pouvoir tampon et évaluation titrimétrique du jus de rumen. *Rec. Med. Vet.*, 160, 585-593.
- Dijkstra J., Boer H., Van Brucken J., Bruining M., Tamminga S., 1993. Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume. *Br. J. Nut.*, 69, 385-396.
- Dulphy J.P., Demarquilly C., 1981. Problèmes particuliers des ensilages. In : C. Demarquilly (ed), *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, 81-104. INRA, Paris.
- Erdman R.A., 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. *J. Dairy Sci.*, 71, 3246-3266.
- Giger-Reverdin S., Duvaux-Ponter C., 1998. Le pouvoir tampon intrinsèque des aliments. Doc. CAAA-INAPG, 15 p.
- Giger-Reverdin S., Sauvant D., 1998. Le pouvoir acidogène des aliments. Doc. CAAA-INAPG, 15 p.
- Jacques K., Harmon D.L., Croom W.J., Hagler W.M., 1989. Estimating salivary flow and ruminal water balance of intake, diet, feeding pattern and Slaframine. *J. Dairy Sci.*, 72, 443-452.
- Jouany J.P., Thivend P., 1972. Evolution post-prandiale de la composition glucidique des corps microbien du rumen en fonction de la nature des glucides du régime. II. Les protozoaires. *Ann. Biol. Anim. Biochim.*, 12, 673-677.
- Journet M., 1988. Optimisation des rations. In : *Alimentation des bovins, ovins, caprins*, 121-133. INRA, Paris.
- Kaufman W., 1976. Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH regulation in the rumen and on feed intake in ruminant. *Livest. Prod. Sci.*, 3, 103-114.
- Kaufman W., Hagemeyer H., 1969. Das Puffersystem ? in der Vormägen von Rindern. *Tierphys. Tierern. Futterm.*, 25, 157-168.
- Le Ruyet P., Tucker W.B., Ajlam M., Lema M., Shin I.S., Miller T.P., Adams G.D., 1992. Effect of dietary fiber and dietary buffer value index on ruminal auditives in lactating cows. *Anim. Sci. Res. Rep.*, 87-96.
- Malestein A., Van't Klooster J.A., Pains R.A., Connette G.M., 1984. Concentrate feeding and ruminal fermentation. 3. Influence of concentrate ingredients on pH and DL lactic acid concentration in the rumen fluid of dairy cows and on dry matter intake. *Neth. J. Agric. Sci.*, 32, 9-16.
- Mertens D., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80, 1463-1481.
- Meschy F., Bravo D., 1998. L'apport alimentaire de substances tampons. Doc. CAAA-INAPG, 7 p.
- Michalet-Doreau B., Sauvant D., 1989. Influence de la nature du concentré, céréale ou pulpe de betterave sur la digestion chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 2, 235-244.
- Nagaraja T.G., Chengappa M.R., 1998. Liver abscesses ? in feedlot cattle : a review. *J. Anim. Sci.*, 76, 287-298.
- Owens F.N., Secrist D.S., Hill W.J., Gill D.R., 1998. Acidosis in cattle : a review. *J. Anim. Sci.*, 76, 275-286.
- Rémond B., Brugère H., Poncet C., Baumont R., 1995. Le contenu du réticulo-rumen. In : R. Jarrige et al (eds), *Nutrition des Ruminants domestiques*, 253-298. INRA, Paris.
- Sauvant D., 1997. Conséquences digestives et zootechniques de la variation de la vitesse de digestion de l'amidon chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 10, 287-300.
- 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., 1998. Diet fibrosity and dynamic of liquid in the rumen of cattle. *J. Dairy Sci.*, Special issue, 316.
- Sauvant D., Van Milgen J., 1995. Dynamic aspects of carbohydrate and protein breakdown and the associated microbial matter synthesis. In : Engelhardt et al. (eds), *Proc 8th Int. Symp. on Ruminant Physiology*, 71-91. Verlag, Stuttgart.
- Sauvant D., Chapoutot P., Archimède H., 1994. La digestion des amidons par les ruminants et ses conséquences. *INRA Prod. Anim.*, 7, 115-124.
- Shaver R.D., 1997. Nutritional risk factors in the etiology of left displaced abomasum in dairy cows : a review. *J. Dairy Sci.*, 80, 2449-2453.
- Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., Peyraud J.L., Poncet C., 1987. Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI). *Bull. Tech. CRZV Theix*, INRA, 70, 19-34.
- Vermorel M., 1995. Productions gazeuses et thermiques, résultats des fermentations digestives. In : R. Jarrige et al (eds), *Nutrition des Ruminants domestiques*, 649-670. INRA, Paris.

Abstract

Components of ruminal acidosis and acidogenic effects of diets.

Ruminal acidosis is a major concern in modern nutrition of ruminant. Effectively, the increase of production potentials has been associated with a subsequent increase of the proportion of concentrate in the diets. Therefore the reticulo rumen of the high yielding ruminants has to digest increased quantities of fermentable

organic matter. The following fermentation rate is sometimes dramatically increased, therefore ruminant pH decreases and this acidosis status lead to several zootechnical drawbacks: negative digestive interactions, decrease of the milk fat content, digestive and metabolic pathologies... An acidosis status of the rumen is the consequence of a reduction of salivary flow which recycles phosphate and bicarbonate buffers. The assessment of acidosis status is performed from the pH measurement of the rumen fluid. It is generally

believed that the mean pH must not be less than an approximative value of 6.25. Numerous experiments allowed to demonstrate that various diet characteristics have an influence on the ruminal pH. Considering the threshold value of 6.25, it is possible to define the corresponding recommended values for the various diet items. A part of the allowances are expressed as minimal values. Thus it is recommended that the diets contain a minimum of 35 % of NDF (% diet Dry matter), 25 % of forage NDF, 2.5 mm of mean particle size in the diets or 40 % of the diet dry matter from particles larger than 2 mm.

Other recommendations are under the form of constraints of maximum. Thus the concentrate proportion in the diet must remain below to around 45 %/DM. For starch, the corresponding value is of 25 % dry matter and for ruminal degradable starch, it is of 20 % of DM. Moreover, it is recommended that the index of mastication of the diets must be maintained to values greater than 40 min /kg DM intake. Otherwise, it is

known that high levels of intake induce a shorter transit time and a lower pH in the rumen. Thus the mean pH presents values below the threshold of 6.25 when the level of DM intake is higher than about 2.5 % of live weight. Endly when the animal has a rate of intake, more than 50 g/min, pH values become less than 6.25. In case of high risk of acidosis, it is recommended to provide mineral buffers at an approximative rate of 1 to 2 % of DM intake.

In conclusion, it is very important to characterise precisely the diets which are offered to ruminants by taking into account safety parameters in addition to the classical parameters of the nutritive value. An example of empirical prediction of the pH from such criteria is given.

Sauvant D., Meschy F., Mertens D., 1999. Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. INRA Prod. Anim., 12, 49-60.