

# Variabilité des pouvoirs tampon et acidogène de 24 matières premières destinées aux ruminants. Liaison avec la composition chimique

S. GIGER-REVERDIN, C. DUVAUX-PONTER, D. SAUVANT, C. MAAROUFI, F. MESCHY  
INRA, Laboratoire de Nutrition et Alimentation de l'INA-PG, 16, rue Claude-Bernard, 75005 Paris

**RESUME** – Comme l'acidose est un risque pathologique important chez les ruminants en élevage intensif, nous avons cherché à mieux comprendre le comportement fermentaire des aliments. De ce fait, nous avons défini une nouvelle méthode de mesure du pouvoir tampon des aliments en modélisant leur résistance à un apport exogène d'acide acétique (principal AGV du rumen) et mesuré leur pouvoir acidogène en adaptant la méthode *in vitro* du gaz-test à des mesures en cinétique.

Les 24 matières premières choisies, de nature et de composition chimique variées, présentent des pouvoirs tampon et acidogène variables. Ces nouveaux critères qui pourraient caractériser le risque hygiénique des aliments sont indépendants entre eux et peu liés à la composition chimique. Les hiérarchies obtenues sont en accord avec celles issues de la bibliographie, lorsque des résultats ont été obtenus sur des aliments similaires.

# Variability of buffering and acidifying capacities of 24 feedstuffs for ruminants. Association with chemical composition

S. GIGER-REVERDIN, C. DUVAUX-PONTER, D. SAUVANT, C. MAAROUFI, F. MESCHY  
INRA, Laboratoire de Nutrition et Alimentation de l'INA-PG, 16, rue Claude-Bernard, 75005 Paris

**SUMMARY** – Acidosis is a major pathological risk for ruminants bred in intensive conditions. Therefore, we tried to better explain the differences in fermentation behaviour of feedstuffs. We have defined a new method for the measurement of buffering capacity, by modelling the resistance of a feedstuff to the addition of acetic acid (principal VFA in the rumen). The acidifying capacity was measured by adapting the *in vitro* gas-test for kinetics sampling.

Twenty-four feedstuffs were chosen to differ as much as possible by nature and chemical composition. They had very different buffering and acidogenic capacities which should characterise their hygienic value and which were not linked together and to their chemical composition. The hierarchy between feedstuffs was in agreement with data available on similar feedstuffs.

## INTRODUCTION

La fermentation des aliments dans le rumen engendre la production d'acides gras volatils qui diminue le pH ruminal et, dans certains cas, conduit à l'acidose, un risque pathologique important chez les ruminants en élevage intensif. Il est donc important de disposer de critères caractérisant avec précision, d'une part, les différences de comportement fermentaire entre les aliments, ce que l'analyse chimique ne permet pas (Sauvant *et al.*, 1999), et d'autre part, leurs aptitudes à résister à un apport d'acide.

L'objet de ce travail est de présenter des critères plus spécifiques de ces aspects (mesures du pouvoir tampon intrinsèque des aliments et de leur pouvoir acidogène) qui prédiraient le risque hygiénique des aliments, d'estimer leur variabilité, de les relier à des paramètres plus classiques et, enfin, de donner une hiérarchie des aliments.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. LES ALIMENTS

Les 24 aliments ont été choisis afin de représenter au mieux la variabilité des matières premières ou des fourrages les plus couramment utilisés en alimentation animale, tout en présentant des compositions chimiques les plus différentes possible. Ils se répartissent en 5 groupes :

- céréales et leurs sous-produits (blé, orge, avoine, maïs, sorgho, son de blé, drêches de brasserie, gluten feed de maïs, gluten meal de maïs)
- graines de légumineuses (féverole, pois, lupin)
- tourteaux (soja, coprah, colza, tournesol, palmiste)
- co-produits agro-industriels (coques de soja, pulpe de betteraves, pulpe d'agrumes)
- fourrages (foin de luzerne, luzerne déshydratée, ensilage de maïs, cannes de maïs)

### 1.2. COMPOSITION CHIMIQUE

Les aliments ont été analysés suivant les méthodes proposées par l'AFNOR (1999) pour les critères suivants : matières azotées totales (MAT), matière grasse (MG), amidon par méthode enzymatique (Amidon), constituants pariétaux selon la méthode de Van Soest réalisée de façon séquentielle (NDF, ADF, ADL) et cendres brutes (MM).

### 1.3. MESURE DU POUVOIR TAMPON INTRINSÈQUE DES ALIMENTS

Le pouvoir tampon intrinsèque d'un aliment correspond à la capacité de cet aliment à résister à un apport exogène d'acide. Nous considérons qu'il est constitué de 2 composantes complémentaires : le pH initial de l'aliment (pHi) et le pouvoir tampon *sensu stricto* (PT).

Le pH initial de l'aliment a été défini comme étant le pH d'une solution de 200 ml d'eau distillée contenant 10 g de cet aliment. Nous avons défini une fonction décrivant l'évolution du pH de la solution suite à l'apport d'acide acétique (limitée à 4). Le pouvoir tampon est égal à l'inverse de la dérivée de cette fonction au pHi. Cet acide a été choisi parce qu'il est le principal AGV du rumen et que son pK est similaire à celui des autres AGV.

### 1.4. MESURE DU POUVOIR ACIDOGÈNE DES ALIMENTS

Le pouvoir acidogène des aliments peut être estimé par la décroissance du pH d'un milieu d'incubation *in vitro* résultant de la fermentation des aliments (Malestein *et al.*, 1984). La méthode retenue est celle du gaz-test proposée par Menke et Steingass (1988) et adaptée dans notre laboratoire aux études en cinétiques (Maaroufi *et al.*, 1999). Chaque aliment a été testé dans 2 séries différentes, avec 2 répétitions dans chaque série. Les productions de gaz ont été corrigées des effets liés aux variations inter-jours du milieu d'incubation et ont été ramenées à la production correspondant à 200 mg de matière sèche de substrat.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. COMPOSITION CHIMIQUE

L'étendue des variations de composition chimique des aliments est grande (Tableau 1) et correspond à l'objectif initial qui était de couvrir au mieux l'étendue observée sur le terrain, afin d'être le plus représentatif possible.

Tableau 1  
Caractéristiques de composition chimique des 24 aliments

g/kg MS	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
MAT	214	156	44	650
MG	28	28	0	110
Amidon	209	267	0	727
NDF	340	214	5	776
ADF	193	140	4	446
ADL	35	29	1	90
MM	55	28	14	111

### 2.2. POUVOIR TAMPON INTRINSÈQUE DES ALIMENTS

#### 2.2.1. pH initial des aliments

Le pHi des aliments a varié de 3,89 (ensilage de maïs) à 6,76 (tourteau de soja). Quatre aliments (drêches de brasserie, gluten feed, gluten meal, ensilage de maïs) se caractérisent par un pHi faible et proche de 4 (3,89 à 4,31). Aucun critère chimique n'est corrélé significativement au pH initial sur l'ensemble des 24 matières premières. Cependant, lorsque les 4 aliments les plus "acides" sont exclus de l'analyse, le pH initial est corrélé positivement à la teneur en MAT des aliments :

$$pHi = 5,49 + 1,69 \text{ MAT (kg/kg MS)}$$

$$(r^2 = 0,25, n = 20, \text{ETR} = 0,45)$$

Les valeurs de pHi sont très proches de celles obtenues par Jasaitis (*et al.*, 1987) pour 17 aliments similaires.

#### 2.2.2. Pouvoir tampon *sensu stricto* des aliments

La courbe de décroissance du pH a été exprimée en fonction de la quantité d'acide acétique ajoutée et exprimée en meq d'H. Afin de prendre en compte la phase de décroissance exponentielle du pH qui vient s'appuyer sur une asymptote décroissante, les courbes obtenues expérimentalement ont été modélisées avec la procédure NLIN du logiciel SAS (1987) par la somme d'une fonction linéaire et d'une fonction exponentielle impliquant 4 paramètres (a, b, c, d) :

$$pH = a - b \text{ eqH} + c \exp(-d \text{ eqH})$$

Le pouvoir tampon, ou inverse de la dérivée à pHi, est donc égal à :  $1/(b + (c * d))$ .

La convergence de l'ajustement n'a pas été obtenue avec les 4 matières premières dont les pHi sont les plus acides (ensilage de maïs, gluten feed, gluten meal et drêches de brasserie) du fait de leur pH initial trop bas. Dans ces cas, le pH décroît de façon linéaire avec l'ajout d'acide. Ces matières premières n'ont donc pas de pouvoir tampon intrinsèque tel que nous l'avons défini.

La suite de l'étude porte sur les 20 autres matières premières. Les ajustements obtenus peuvent être considérés comme satisfaisants, puisque l'écart-type résiduel moyen est de 0,027 unités pH, avec des variations allant de 0,011 (pulpes de betteraves) à 0,052 (tourteau de tournesol).

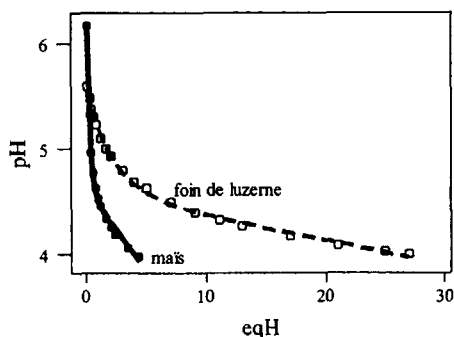
Le PT a varié de 0,195 (maïs), aliment qui présente un faible pouvoir tampon, à 2,188 (foin de luzerne), aliment à fort pouvoir tampon. Les 2 courbes extrêmes sont illustrées dans la Figure 1.

Le PT dépend essentiellement des paramètres c ( $r = -0,75$ ), b ( $r = -0,72$ ) et d ( $r = -0,72$ ). Les paramètres d et b correspondent respectivement au taux de décroissance de la courbe exponentielle et à la pente de l'ajustement de la courbe à une droite pour les pH voisins de 4. Ils sont directement proportionnels et étroitement liés ( $r = 0,97$ )

Cette liaison entre les paramètres d et b signifie que les aliments à forte résistance initiale à un apport d'acide (d petit) ont une pente b faible. En d'autres termes, pour un apport d'acide donné au voisinage d'un pH de 4, leur pH décroît

moins que pour ceux qui ont un *d* élevé (faible résistance initiale à un apport d'acide). *b* et *d* traduisent donc des effets qui se cumulent.

**Figure 1**  
Influence d'un ajout d'acide acétique sur le pH



PT est très bien expliqué par la combinaison des paramètres *d* et *c* :

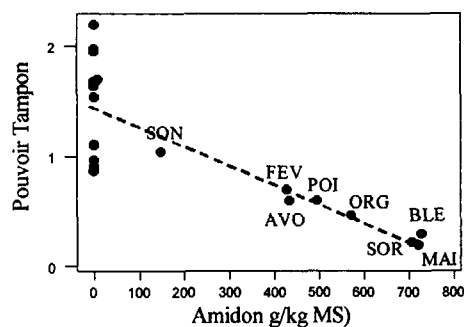
$$PT = 2,68 - 0,887 c - 0,445 d \quad (r^2 = 0,81, n = 20, ETR = 0,29)$$

Ce paramètre (PT) diminue avec la teneur en amidon (Figure 2) :

$$PT = 1,45 - 1,74 \text{ amidon (kg/kg MS)} \quad (r^2 = 0,67, n = 20, ETR = 0,36)$$

Les autres critères chimiques ne permettent pas d'améliorer la prédiction du pouvoir tampon.

**Figure 2**  
Relation entre PT et la teneur en amidon



Les aliments pauvres en amidon ont donc un pouvoir tampon supérieur aux céréales, et en particulier à celles riches en amidon peu dégradable (maïs et sorgho). Cet aspect est d'autant plus intéressant à noter que les autres études concernant le pouvoir tampon n'impliquaient pas autant d'aliments de nature aussi différente, ni le dosage de l'amidon. Cependant, la hiérarchie entre aliments est proche de celles obtenues par Boltshauser *et al.*, 1993) ou de Jasaitis *et al.*, 1987) pour des aliments de composition similaire, bien que les relations entre PT et les pouvoirs tampon proposés par ces auteurs ne soient pas linéaires.

L'originalité de notre travail porte sur l'utilisation d'un acide faible et non de l'acide chlorhydrique, acide fort qui a été utilisé dans les rares études sur le pouvoir tampon des aliments destinés aux ruminants (Jasaitis *et al.*, 1987, Fadel *et al.*, 1992) ou aux porcs (Boltshauser *et al.*, 1993). Le pouvoir tampon, tel que nous l'avons défini, tient compte de la physiologie du ruminant, puisqu'il permet de caractériser un aliment par son aptitude à résister à un apport d'acide similaire à celui rencontré dans le rumen. De plus, nous avons obtenu de bons ajustements de la prédiction du pH en fonction de l'apport d'acide, ce qui présente l'intérêt de ne pas faire dépendre le PT du pH final choisi (ici, pH = 4).

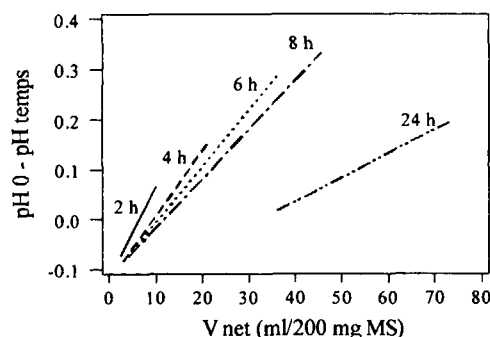
### 2.2.3. Relation entre les composantes du pouvoir tampon

Sur l'ensemble des 20 aliments, le *pHi* est corrélé négativement au PT ( $r = -0,68$ ). Ainsi, les matières premières à fort pouvoir tampon ont un *pHi* faible.

### 2.3. POUVOIR ACIDOGÈNE DES ALIMENTS

Par définition, le pouvoir acidogène d'un aliment correspond à la diminution de pH du milieu d'incubation induite par la fermentation de cet aliment pendant une durée déterminée. Avec la méthode de Menke et Steingass (1988), la mesure du pH dans la seringue nécessite de vider cette seringue qui ne peut donc plus être réutilisée. Or, pour une durée d'incubation donnée, la variation du pH ( $dpH = pH \text{ temps } 0 - pH \text{ temps}$ ) dans la seringue est fortement corrélée à la production nette de gaz. La Figure 3 montre les droites de régression obtenues pour chacune des durées d'incubation sur l'ensemble des 24 matières premières :

**Figure 3**  
Relation intra-temps entre dpH et production de gaz



Comme la variation moyenne du pH est faible dans les premières heures d'incubation (-0,03 à 2 h, 0,01 à 4 h, 0,07 à 6 h et 0,12 à 8 h), nous caractériserons le pouvoir acidogène des matières premières par leur dégagement gazeux, mesure plus précise avec le dispositif utilisé.

Les productions de gaz entre 2 temps consécutifs à court et moyen termes (2 à 8 h) sont très fortement corrélées entre elles ( $r \geq 0,86$ ), mais les productions de gaz à très court terme (2 et 4 h) ne sont pas statistiquement corrélées à la production de gaz à 24 h. Puisque les phénomènes d'acidose, quand ils existent, se produisent dans les heures qui suivent les repas, il est donc nécessaire de dissocier la production de gaz en 24 h qui est liée à la valeur énergétique de l'aliment (Menke et Steingass, 1988) de la cinétique de production de gaz à court terme.

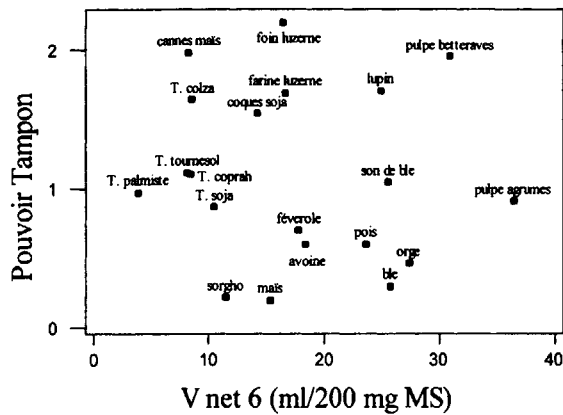
Dans le court terme, les matières premières les plus "gazo-gènes", donc acidogènes du fait de leur fermentescibilité élevée et à fort risque hygiénique, sont les pulpes d'agrumes et de betterave, le blé, l'orge, le son de blé, le pois, le lupin et le gluten feed. Les productions de gaz en 2 et 4 h ne sont pas corrélées avec les critères d'analyse chimique mesurés dans ce travail. Le volume produit dans les temps ultérieurs est lié à la teneur en lignine (ADL) des aliments. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus *in vitro* par Crawford *et al.*, 1983), De Smet *et al.*, 1995) et Dewhurst *et al.*, 1995).

### 2.4. RELATION ENTRE LES POUVOIRS TAMPON INTRINSÈQUE ET ACIDOGÈNE DES ALIMENTS

Sur l'ensemble des 20 matières premières, il n'y a pas de corrélation significative entre les paramètres caractérisant le pouvoir tampon des aliments (*pHi*, PT) et les productions de gaz à court terme (2 h, 4 h, 6 h et 8 h). Seule la production de gaz en 24 h est liée au paramètre PT.

En considérant que la production de gaz après 6 h d'incubation est une bonne estimation du pouvoir acidogène des aliments, on peut donc distinguer des matières premières à fort pouvoir tampon intrinsèque et à faible pouvoir acidogène comme les tourteaux, d'autres à fort pouvoir tampon et à pouvoir acidogène élevé comme les pulpes de betteraves ou le lupin, ainsi que des matières premières à faible pouvoir tampon et à fort pouvoir acidogène comme le blé et l'orge (Figure 4).

**Figure 4**  
Relation entre le PT et la production de gaz en 6 h



**EN CONCLUSION**, les matières premières couramment utilisées en alimentation animale possèdent des pouvoirs tampon et acidogène variables, mal expliqués par la composition chimique de l'aliment. Les critères tels que ceux décrits dans ce travail devront être validés par des études *in vivo* avant d'être intégrés dans le cadre de la formulation des régimes pour mieux prédire les risques d'acidose des rations.

AFNOR, 1999. Méthodes d'analyse des aliments des animaux. Recueil des textes normatifs et réglementaires.

Boltshauser, M., Jost, M., Kessler, J., Stoll, 1993. Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour porcs. Centrale des moyens d'enseignement agricole (Editor), Zollikofen, Suisse.

Crawford R.J., Shriver B.J., Varga G.A., Hoover W.H., 1983. J. Dairy Sci., 66, 1881-1890.

De Smet A.M., De Boever J.L., De Brabander D.L., Vanacker J.M., Boucqué Ch. V., 1995. Anim Feed Sci. Technol., 51, 297-315.

Dewhurst R.J., Hepper D., Webster A.J.F., 1995. Anim. Feed Sci. Technol., 51, 211-229.

Fadel, J.G., 1992. J. Dairy Sci., 75, 1287-1295.

Jasaitis D.K., Wohlt J.E., Evans J.L., 1987. J. Dairy Sci., 70, 1391-1403.

Maaroufi C., Le Pierres J.L., Giger-Reverdin S., Chapoutot P., Crispin A., Poissonnet P., Quintard M., Ragot V., Sauvant D., 1999. Cah. Tech. INRA, 42, 19-28.

Malestein A., Van't Klooster J.A., Pains R.A., Counotte G.H.M., 1984. Neth. J. Agric. Sci., 32, 9-16.

Menke K.H., Steingass A., 1988. Anim.Res.Dev., 28, 7-55

SAS, 1987. Guide for Personal Computers, Version 6. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Sauvant D., Meschy F., Mertens D., 1999. INRA prod. Anim., 12, 49-60.