



# Le point sur l'équilibre acido-basique chez le porc et le bilan électrolytique des aliments



**L**a notion de bilan électrolytique, caractérisant l'équilibre des ions dans les aliments, est prise en considération de façon croissante dans l'analyse des équilibres nutritionnels. Pourquoi ce paramètre prend-il de l'importance ? Quels sont les risques ou inconvénients liés à un éventuel déséquilibre ? A la lumière de la bibliographie disponible, le présent article fait le point sur ces questions, présente les mécanismes impliqués et les conséquences possibles des évolutions actuelles dans la conduite de l'alimentation du porc.

## Qu'est-ce que l'homéostasie acido-basique ?

L'organisme est constitué pour les deux tiers d'eau qui se répartit entre deux compartiments : le compartiment intracellulaire et le compartiment extracellulaire. L'homéostasie de l'animal dépend de l'équilibre entre ces deux compartiments. Ce dernier repose sur l'existence de mécanismes de régulation qui permettent d'utiliser l'eau et les électrolytes apportés par l'alimentation tout en maintenant l'équilibre hydrique et électrolytique de l'organisme. Le potassium ( $K^+$ ), le sodium ( $Na^+$ ), le chlore ( $Cl^-$ ) et le bicarbonate ( $HCO_3^-$ ) jouent un rôle essentiel dans ces régulations. L'importance relative de ces éléments détermine l'équilibre acido-basique.

L'homéostasie acido-basique correspond au maintien des concentrations intra-cellulaire et extra-cellulaire en protons ( $H^+$ ) à un niveau constant. Lorsque le pH interne n'est pas régulé cela pose de gros problèmes. En effet,  $H^+$  n'existe pas sous forme libre mais sous les formes hydratées  $H_3O^+$  ou  $H_5O_2^+$  et ces formes hydratées peuvent interagir avec

d'autres molécules telles que les protéines, entraînant une modification de la structure quaternaire de ces dernières. Concrètement, cela peut entraîner une réduction de l'activité des enzymes, une modification des propriétés contractiles des muscles, une altération de l'oxygénation des tissus, etc ...

Les principaux indicateurs de l'équilibre acido-basique sont rappelés dans le Tableau 1. La valeur de ces paramètres ne change que lorsque la totalité des bases ou des acides en excès ne parvient pas à être éliminée par la respiration ou par les reins. A contrario, ce n'est pas parce que les valeurs de ces paramètres semblent « normales », qu'il n'y a pas de risque : l'équilibre acido-basique apparent peut alors

**Tableau 1 : Paramètres caractéristiques de l'équilibre acido-basique dans le sang du porc (Patience, 1990)**

Sang	Artériel	Veineux
pH	7,48	7,41
$H^+$ , nM	33	39
$pCO_2$ , mmHg	44	54
$HCO_3^-$ , mM	30	33

## Résumé

Les aliments destinés aux porcs ont tendance à contenir de moins en moins de matières premières riches en protéines, ce qui est rendu possible par la disponibilité des acides aminés industriels.

Ce principe de formulation conduit à des aliments pour lesquels il convient de vérifier le bilan électrolytique, voire de le corriger, afin que sa valeur respecte les minima définis pour chaque stade physiologique.

Nathalie QUINIOU



**Plus le BE est faible, plus l'aliment est acidogène.**

**Les diarrhées entraînent une acidose et les vomissements entraînent une alcalose.**

**Une réduction du taux protéique des aliments peut entraîner une diminution du bilan électrolytique.**

être le résultat d'une activation des mécanismes de régulation. L'étude du pH urinaire permet plus précisément d'évaluer la contribution de la régulation rénale, notamment en cas d'acidose.

### D'où proviennent les acides ?

Le pH urinaire est normalement inférieur à 7, ce qui indique que le métabolisme et les apports alimentaires conduisent à une surcharge acide que l'animal doit excréter.

**Les acides issus du métabolisme :** Ils sont issus des processus métaboliques. Ainsi, l'oxydation complète des glucides et des lipides conduit à la production de CO<sub>2</sub> et d'eau. Bien que le CO<sub>2</sub> ne soit pas un acide, il se combine à une molécule d'eau pour former l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), ce qui mène potentiellement à une production importante de protons (H<sup>+</sup>) et de bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) suivant la réaction :



**Les acides d'origine alimentaire :** L'aliment influence également l'équilibre acido-basique du porc. Son pouvoir acidogène ou alcalinogène peut s'apprécier à partir du calcul du bilan entre les **cations** (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) et les **anions** (Cl<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> + HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Alors que, chez les ruminants, le bilan alimentaire cation-anion (BACA) prend en compte Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et S<sup>2-</sup>, le bilan électrolytique (BE, en milli-équivalents par kg) est surtout utilisé chez les monogastriques, dont le porc. Le BE d'un aliment correspond à la différence (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> - Cl<sup>-</sup>) :

$$\text{BE (mEq/kg)} = (\text{Na} / 22,99 + \text{K} / 39,1 - \text{Cl} / 35,45) \times 1000,$$

où Na, K et Cl sont exprimés en g/kg.

Le BE est représentatif du bilan complet mais ne prend pas en compte les ions bivalents (2+ et 2-). Plus le BE est faible, plus l'aliment est acidogène, inversement, plus il est élevé, plus l'aliment est alcalogène. Les porcs semblent être plus sensibles aux problèmes d'acidémie que d'alcalémie ; il convient donc de veiller à leur apporter un régime dont le BE n'est pas trop faible.

**L'homéostasie acido-basique :** elle est assurée par l'existence de systèmes tampons dont celui des bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), par les poumons qui évacuent une partie du CO<sub>2</sub>, et par les reins qui assurent la réabsorption-régénération de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et l'excrétion des H<sup>+</sup> principalement sous forme d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Les mécanismes intervenant dans cet équilibre sont impliqués également dans d'autres fonctions de l'organisme. Ainsi, en cas de stress thermique, les poumons contribuent également à la thermorégulation en évacuant de la chaleur sous forme de vapeur d'eau. Dans ce cas, la *polypnée* (ou hyperventilation) peut conduire à un état d'alcalose sous l'effet d'une diminution des réserves en CO<sub>2</sub>. On peut envisager que ce problème puisse être résolu par l'apport de bicarbonate facilement disponible par voie alimentaire. En ce qui concerne les reins, ils contribuent à l'élimination des autres acides, dits métaboliques, issus de nombreux processus dont le catabolisme des acides aminés soufrés ingérés en excès, le métabolisme des phospholipides, etc ... mais ils sont produits en quantité beaucoup moins importante que H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Les déséquilibres acido-basiques dus à ces acides sont généralement d'origine pathologique :

- les diarrhées entraînent une acidose métabolique en raison des

pertes digestives de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,  
- les vomissements entraînent une alcalose métabolique consécutive aux pertes d'ions H<sup>+</sup> mais également de K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>.

### Pourquoi s'intéresser aujourd'hui au bilan électrolytique en formulation ?

En général, dans les aliments distribués au porc, le BE est assez éloigné du seuil en deçà duquel la croissance est pénalisée (voir plus loin). Aussi, jusqu'à présent, ce critère était-il rarement pris en compte en formulation.

### La diminution de la teneur en protéines entraîne une baisse du BE

La prise en compte du BE devient nécessaire dans un contexte de réduction de la teneur en protéines des aliments et de recours aux acides aminés industriels pour réduire les rejets tout en assurant la couverture des besoins azotés du porc. En effet, ce principe de formulation conduit à réduire l'incorporation des matières premières riches en protéines, telles que les tourteaux. Or, ces derniers se caractérisent par une teneur élevée en K<sup>+</sup> (Tableau 2), leur moindre utilisation résulte *de facto* en un BE plus faible (Tableau 3). A l'heure actuelle, la diminution du taux protéique s'effectue jusqu'à une limite techniquement permise par l'utilisation des trois acides aminés essentiels les plus couramment disponibles que sont la lysine, la méthionine et la thréonine. A l'avenir, si son coût diminue, le tryptophane, utilisé de façon plus importante, devrait encore permettre de réduire le taux protéique des aliments<sup>1</sup> et entraîner à nouveau une diminution du BE.

Dans le cas d'un régime ne respectant pas les équilibres de la

BE = Bilan Electrolytique

<sup>1</sup> Afin de ne pas carencer l'aliment en acides aminés secondaires, le taux protéique ne peut diminuer en deçà d'une valeur correspondant à un rapport lysine totale / protéine de 0,068 (Henry, 1993). Ainsi, pour un régime à 9,05 g/kg de lysine totale, le taux protéique minimal sera de 133 g/kg.



**Tableau 2 : Teneurs en électrolytes de quelques matières premières (INRA, 1984) et calcul de leur bilan électrolytique (BE, mEq/kg)**

Matière première	Na, g/kg	K, g/kg	Cl, g/kg	BE, mEq/kg
Blé	0,5	4,0	0,6	107
Maïs	0,1	3,3	0,5	75
Orge 6 rangs	0,4	4,4	1,4	90
Pois	0,1	11,0	0,3	277
Tourteau de colza	7,5	11,0	0,7	588
Tourteau de tournesol	0,1	15,5	1,3	364
Tourteau de soja 48	0,1	21,0	-	286
L-Lysine HCl	-	0,3	194,0	-5465
Bicarbonate de sodium	270,0	-	40,0	10615
Sel	393,0	-	606,0	0

protéine idéale, un excès d'acides aminés soufrés (méthionine et cystine), relativement à la lysine, conduit à leur oxydation partielle, ce qui génère de l'acide sulfurique et aboutit à un équilibre électrolytique plus bas. Toutefois, même dans le cas où la protéine serait équilibrée, une oxydation des acides aminés soufrés peut avoir lieu si les apports ne sont pas ajustés au potentiel de croissance musculaire du porc ; en d'autres termes, quand les apports sont excédentaires par rapport aux besoins de l'animal.

Dans le cas d'un régime carencé en lysine, le fait de remonter le BE par l'addition de bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) peut être bénéfique, car il semble avoir un effet d'épargne sur la lysine (Mabuduike et al., 1980). En cas de non-carence en lysine, l'effet est par contre quantitativement moins important.

### Quel bilan électrolytique pour quel stade physiologique ?

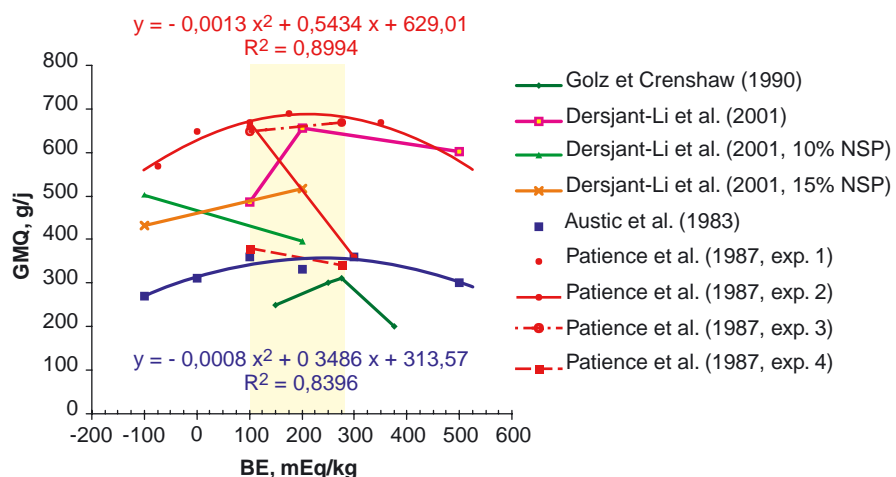
En conditions d'alimentation à volonté, l'ensemble des études s'accorde sur l'absence d'effet du BE sur l'indice de consommation. Par contre, en ce qui concerne l'effet sur la vitesse de croissance, les

résultats divergent. En fait, comme dans toute étude du type «dose-réponse» les niveaux relatifs de BE étudiés et le nombre de traitements expérimentaux peuvent expliquer une partie des divergences entre les conclusions des différents auteurs. Dans les figures 1 & 2, nous avons tenté de mettre sur le même graphique les vitesses de croissance obtenues (en post-sevrage ou en engraissement) dans des études différant par le nombre de traitements, les niveaux minima et maxima, la satisfaction ou non des besoins (carence ou non en lysine, en tryptophane, ...), le mode de logement, la température, les matières premières de base. Néanmoins, à l'exception de l'essai de Patience et Chaplin (1987),

tous les résultats présentés dans ces figures sont obtenus en conditions d'alimentation à volonté, les différences de vitesse de croissance sont donc à mettre en relation avec les effets sur l'appétit.

• **En post-sevrage**, à partir de deux travaux pour lesquels le nombre de traitements est le plus important (Austic et al., 1983 ; Patience et al., 1987) et la gamme de BE la plus large (respectivement -100 et 500 et -75 et 350 mEq/kg), on peut calculer par régression que le GMQ le plus élevé est obtenu vers 215 mEq/kg. Cependant, ce maximum est peu marqué, la vitesse de croissance étant assez peu affectée par des BE variant **entre 100 et 275 mEq/kg** (Figure 1).

**Le BE n'influence pas l'indice de consommation.**



**Figure 1 : Evolution de la vitesse de croissance chez le porc sevré selon le bilan électrolytique de l'aliment (revue des données de la littérature)**

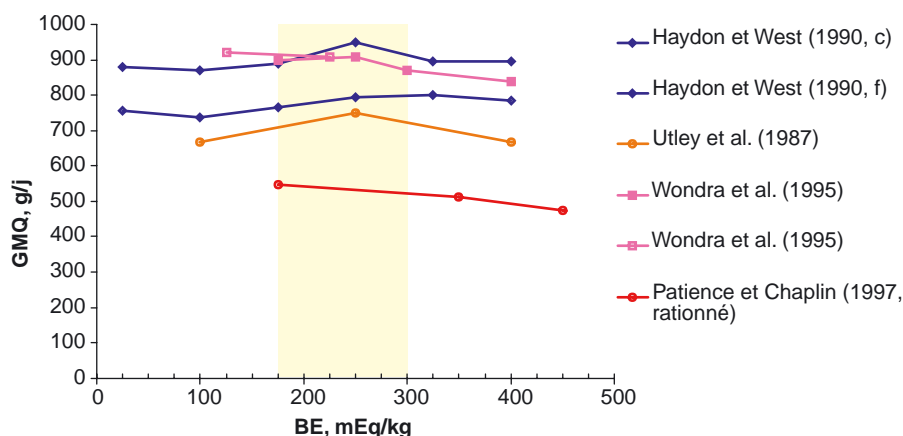


**Tableau 3 : Evolution du bilan électrolytique (BE) avec la diminution du taux d'incorporation des matières premières riches en protéines et incorporation de bicarbonate de sodium nécessaire pour ajuster le BE**

Régimes <sup>1</sup>	croissance			finition		
Matières premières retirées de la formule	témoin	- pois	- pois - 1/2 t. soja	témoin	- pois	- pois - 1/2 t. soja
<b>Taux d'incorporation (g/kg)</b>						
Tourteau de soja 48B	115	115	60	67	67	30
Pois à 21% MAT	140	-	-	140	-	-
Blé à 11,3 % MAT	584,3	724,7	782,6	562,6	702,8	752,7
Son de blé	80	80	80	150	150	140
Mélasse de canne	30	30	30	30	30	30
Huile de soja	15	12	6	15	12	7
L Lysine	2	3,9	5,5	2,1	4,0	5,1
DL Méthionine	0,7	0,6	0,9	0,5	0,5	0,6
Thréonine	1,0	1,3	2,0	0,8	1,2	1,7
Tryptophane	-	-	0,2	-	-	0,1
Sel	3	3	3	3	3	3
CaCO <sub>3</sub>	17	17	17	18	18	18
Phosphate bicalcique	7,0	7,5	7,8	6,0	6,5	6,8
COV	5	5	5	5	5	5
<b>Caractéristiques nutritionnelles</b>						
<b>BE (mEq/kg)</b>	<b>183</b>	149	115	<b>174</b>	140	116
<b>MAT (g/kg)</b>	<b>164</b>	<b>153</b>	<b>136</b>	<b>150</b>	<b>139</b>	<b>127</b>
Lysine digestible (g/kg)	8,35	8,38	8,35	7,37	7,40	7,39
EN (MJ/kg)	9,75	9,76	9,75	9,62	9,62	9,62
<b>Pour ajuster le BE au niveau témoin (183 ou 174 mEq/kg), incorporer du bicarbonate de sodium à hauteur de (g/kg) :</b>	<b>-</b>	<b>2,8</b>	<b>6,0</b>	<b>-</b>	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>

1. Ajustés sur la base de l'énergie nette, de la teneur en lysine digestible, et présentant un profil en acides aminés essentiels en accord avec celui de la protéine idéale.

**Au sevrage, l'utilisation de bicarbonate de sodium peut paraître contradictoire avec l'utilisation d'un acidifiant.**



**Figure 2 : Evolution de la vitesse de croissance chez le porc en croissance-finition selon le bilan électrolytique de l'aliment (revue des données de la littérature)**

- **En engraissement**, les vitesses de croissance sont comparables lorsque le BE varie **entre 175 et 300 mEq/kg** (Figure 2). De moins bonnes performances sont observées par Utley et al. (1987) à 100 et 400 mEq/kg par rapport à 250 mEq/kg ce qui peut être mis

en relation avec les perturbations de l'équilibre acido-basique induites par l'exposition à des températures élevées.

- **En lactation**, le sujet a été peu étudié. En comparant des BE de 170 ou de 270 mEq/kg, Dove et

Haydon (1994) ne mettent pas en évidence de différence significative sur la plupart des critères de performance de la truie, à l'exception du poids des porcelets au sevrage qui tend à être plus élevé dans le deuxième cas (5,71 vs 5,45 à 21 j avec 170 mEq/kg), et ce quelle que soit la saison. Néanmoins, numériquement la valeur de nombreux critères est à l'avantage du BE de 270 mEq/kg, telles que la consommation d'aliment (4,45 vs 4,36 g/j), les pertes de poids et d'épaisseur de lard dorsal (respectivement -8,4 vs -10,2 kg et -0,7 vs -1,1 mm).

- **Au sevrage**, l'utilisation de bicarbonate de sodium dans les aliments de sevrage peut paraître contradictoire avec l'utilisation d'un acidifiant. En effet, pourquoi utiliser une matière première alca-



linisante alors que l'on cherche, à ce stade, plutôt à réduire le pH gastrique ? Au sevrage, avec l'arrêt de l'alimentation lactée, le pH gastrique augmente. Cette moindre acidité diminue l'activation des enzymes impliquées dans la protéolyse (pepsines). Par ailleurs, l'utilisation d'aliment à pouvoir tampon élevé (voir encadré) peut entraîner des colibacillooses, d'où l'apparition des troubles du sevrage. L'ajout d'acides organiques (acides formique, propionique, fumarique, citrique, ...) à 1 ou 2% dans l'aliment contribue donc à prévenir l'apparition des diarrhées en facilitant la digestion protéique et/ou en empêchant le développement d'une flore pathogène grâce à l'abaissement du pH gastrique. Cependant, dans le même temps, les acides organiques peuvent accroître les risques d'acidose. Giesting et al. (1991) et Krause et al. (1994) ont montré que l'usage de bicarbonate de sodium, en combinaison avec de l'acide fumarique, permettait d'éviter cet inconvénient et même d'atteindre un niveau de performance supérieur à celui observé en utilisant l'acide seul (Tableau 4) : +25% de GMQ, +13% d'aliment ingéré, -9% d'IC. Toutefois, il faut veiller à maintenir le taux de bicarbonate de sodium suffisamment bas pour que le pH de l'aliment reste inférieur à celui de l'aliment témoin et afin de ne pas trop diluer l'aliment.

### Les ulcères : attention aux BE trop bas

Avec des aliments granulés et broyés finement (0,35 mm, blé – tourteau de soja), donc associés à un risque d'ulcère potentiellement plus important, l'ajout de 1% de bicarbonate de sodium (222 vs 134 mEq/kg) dans l'aliment permet de réduire l'incidence des ulcères d'après Wondra et al. (1995). Par contre avec des ali-

### Pouvoir tampon et bilan électrolytique

Le pouvoir tampon correspond à la quantité d'HCl à ajouter à 1 kg d'aliment pour atteindre une valeur de pH de 3 (PT<sub>3</sub>) ou 4 (PT<sub>4</sub>) au bout de 1 heure à 37°C. Un pouvoir tampon faible de l'aliment permet une acidification plus rapide du bol alimentaire dans le tube digestif et empêche ainsi le développement d'une flore pathogène. D'après l'équation adaptée de Meschy (1998), où MS est le taux de matière sèche et MM la teneur en matières minérales, le pouvoir tampon peut être estimé à partir du BE de la façon suivante :

$$PT_3 \text{ (mEq/kg)} = [0,249 + 0,0005 \text{ BE (mEq/kg MS)} + 0,00575 \text{ MM (g/kg MS)}] \times \text{MS (g/kg)}$$

Un BE compris entre 100 et 275 mEq/kg correspond donc à un pouvoir tampon compris entre 580 et 670 mEq (pour une teneur en matières minérales de 5,5%) ce qui est tout à fait satisfaisant compte tenu du fait qu'en post-sevrage le pouvoir tampon doit être inférieur à 750 mEq afin d'éviter le développement d'une flore pathogène (Anonyme, 1992).

**Tableau 4 : Effet de l'utilisation d'acide fumarique et/ou de bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) sur les performances du porc pendant les 4 semaines de post-sevrage (Giesting et al., 1991)**

	+0 %	+2,75 %	+0 %	+2,75 %	interaction
Ac. Fumarique	+0 %	+2,75 %	+0 %	+2,75 %	
Bicarbonate de sodium	+0 %	+0 %	+2,5 %	+2,5 %	
pH de l'aliment	5,3	3,4	6,9	4,6	
GMQ, g/j	260	248	254	310	*
Ingéré, g/j	464	462	482	524	
IC	1,79	1,85	1,96	1,69	***

ments moins «fins» (0,49 mm, maïs - tourteau de soja), ces auteurs ne rapportent aucune différence d'intensité d'ulcération ou de kératinisation des estomacs sur une gamme de BE située entre 177 et 399 mEq/kg. Les caractéristiques physiques de l'aliment peuvent expliquer une partie de la différence entre les deux essais, mais l'interprétation des résultats du premier doit être faite en mettant en exergue le BE particulièrement bas du régime témoin (134 mEq) qui, effectivement, peut constituer en lui-même un facteur de risque.

### Eviter un BE trop faible également pour préserver les aplombs

Dans leur revue bibliographique de 1998, Dourmad et Meschy rapportaient des résultats italiens et néerlandais selon lesquels l'amélioration du BE permettait de réduire la fréquence d'apparition

de problèmes d'aplombs. En effet, en cas d'acidose métabolique l'excès de protons est tamponné par les sels osseux, ce qui conduit à une déminéralisation du squelette. Ces problèmes résultent dans la plupart des cas d'une insuffisance rénale marquée ou de diarrhées chroniques, mais l'impact d'un BE faible n'est pas à négliger.

### La digestibilité : une amélioration pour des BE très élevés

Le CUD iléal augmente avec le BE lorsque ce dernier atteint des valeurs particulièrement élevées par rapport à ce qui peut être préconisé. Ainsi, pour un BE de 400 mEq/kg, le CUD de l'énergie est amélioré de 2,4 points par rapport à celui mesuré à 250, alors que celui de la lysine ne change pas. Par contre, entre 100 et 250 mEq/kg, Haydon et West (1990) rapportent une augmentation du CUD iléal de l'énergie de 1,2 point et pour celui

**L'impact d'un BE faible n'est pas à négliger en cas de problèmes d'aplomb.**



**Il s'agit de veiller à ce que le BE ne diminue pas pour éviter les chutes de consommation et de croissance, les problèmes d'ulcères et d'aplombs.**

de la lysine de 1,4 point. Au niveau fécal, ces différences ne sont plus observées compte tenu des remaniements liés aux fermentations bactériennes dans le gros intestin.

## Conclusion

Contrairement à d'autres constituants nutritionnels, pour lesquels la moindre variation de teneur influence de façon importante les performances, le bilan électrolytique peut varier sur une plage rela-

tivement large de valeurs sans affecter les performances (de 100 à 275 mEq en post-sevrage, de 175 à 300 mEq en engraissement). Il s'agit toutefois de veiller à ce qu'il ne diminue pas en deçà d'un seuil donné pour éviter les chutes de consommation et de croissance, les problèmes d'ulcères et d'aplombs. Or, à l'heure actuelle, les aliments destinés aux porcs ont tendance à contenir de moins en moins de matières premières riches en protéines, ce qui est rendu possible par

la disponibilité des acides aminés industriels. En effet, il est maintenant clairement établi qu'une telle pratique permet de réduire de façon importante la charge polluante des déjections, tout en maintenant le niveau de performance des animaux. Ce principe de formulation conduit à des aliments pour lesquels il convient de vérifier le bilan électrolytique, voire de le corriger, afin que sa valeur respecte les minima définis pour chaque stade physiologique. ■

L'auteur souhaite remercier chaleureusement Jean-Yves Dourmad (INRA, UMRVP) et Julien Albar (ITP) pour leur lecture critique du manuscrit.

### Contact :

nathalie.quiniou@itp.asso.fr

## Références bibliographiques

- Anonyme 1992. L'alimentation du porcelet, brochure éditée par l'ITP, 55 pages.
- Austic R.E., Boyd R.D., Klasing K.C., Riley W.W. 1983. Effect of dietary electrolyte balance on growth performance in swine. J. Anim. Sci. 57(suppl. 1): 236.
- Dersjant-Li Y., Verstegen M.W.A., Schulze H., Zandstra T., Boer H., Schrama J.W., Verreth J.A., 2001. Performance, digesta characteristics, nutrient flux, plasma composition, and organ weight in pigs as affected by dietary cation anion difference and nonstarch polysaccharide. J. Anim. Sci. 79: 1840-1848.
- Dourmad J.-Y., Meschy F. 1998. Le bicarbonate de sodium en nutrition porcine. Conférence GTV / SPACE, Rennes, Septembre 1998.
- Dove C.R., Haydon K.D. 1994. The effects of various diet nutrient densities and electrolyte balance on sow and litter performance during two seasons of the year. J. Anim. Sci. 72: 1101-1106.
- Giesting D.W., Roos M.A., Easter R.A. 1991. Evaluation of the effect of fumaric acid and sodium bicarbonate addition on performance of starter pigs fed diets of different types. J. Anim. Sci. 69: 2489-2496.
- Golz D.I., Crenshaw T.D. 1990. Interrelationships of dietary sodium, potassium and chloride on growth in young swine. J. Anim. Sci. 68: 2736-2747.
- Haydon K.D., West J.W. 1990. Effect of dietary electrolyte balance on nutrient digestibility determined at the end of the small intestine and over the total digestive tract in growing pigs. J. Anim. Sci. 68: 3687-3693.
- Henry Y. 1993. Affinement du concept de la protéine idéale chez le porc en croissance. INRA Prod. Anim. 6 : 199-212.
- INRA. 1984. L'alimentation des monogastriques (porcs, lapins, volailles). INRA, Paris, France 282 pp.
- Krause D.O., Harrison P.C., Easter R.A. 1994. Characterization of the nutritional interactions between organic acids and inorganic bases in the pig and chick. J. Anim. Sci. 72: 1257-1262.
- Mabuduike F.M., Calvert C.C., Austic .RE. 1980. Lysine-cation interactions in the pig. J. Anim. Sci. 51(suppl 1): 210.
- Meschy F. 1998. Régulation de l'acidose métabolique et bilan cations-anions en alimentation et formulation. In : Balance anion-cation et effets d'acidose en nutrition animale. CAAA, Ed INAPG, Paris.
- Patience J.F., 1990. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. J. Anim. Sci. 68: 398-408.
- Patience J.F., Austic R.E., Boyd R.D., 1987. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. J. Anim. Sci. 64: 457-466.
- Patience J.F., Chaplin R.K. 1997. The relationship among dietary undetermined anion, acid-base balance, and nutrient metabolism in swine. J. Anim. Sci. 75: 2445-2452.
- Utley R.D., Haydon K.D., West J.W. 1987. Effects of electrolyte source and electrolyte balance on growing pig performance and specific blood parameters in high ambient temperatures. J. Anim. Sci. 65(suppl. 1): 303.
- Wondra K.J., Hancock J.D., Behnke K.C., Hines R.H. 1995. Effect of dietary buffers on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci. 73: 414-420.