

## Quelles teneurs en minéraux et en vitamines recommander pour le régime alimentaire des porcs ?

Didier GAUDRÉ et Nathalie QUINIOU

IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France  
didier.gaudre@ifip.asso.fr

*Les minéraux, les oligo-éléments et les vitamines sont ajoutés couramment à l'alimentation des porcs. La plupart des matières premières disponibles pour l'alimentation des porcs sont caractérisées par des teneurs faibles et des disponibilités réduites et variables en ces éléments. Aussi, des apports complémentaires sont généralement nécessaires sous formes de sels d'oligo-éléments, de vitamines de synthèse et de minéraux.*

*Cet article s'appuie sur une synthèse bibliographique et passe en revue les besoins en minéraux, oligo-éléments et vitamines des porcs permettant d'assurer des performances technico-économiques satisfaisantes dans les conditions d'élevage conventionnelles rencontrées en France. La recherche en nutrition animale a largement orienté ses efforts vers la réduction de l'excrétion de phosphore des porcs, en raison du risque environnemental représenté par son accumulation dans les sols cultivés liés à l'épandage des effluents d'élevage. La généralisation de l'utilisation des phytases microbiennes ces dernières années a entraîné une forte réduction de l'utilisation des phosphates minéraux. Les céréales sont particulièrement déficientes en calcium et en sodium, par conséquent il est nécessaire d'ajouter du carbonate de calcium et du sel pour satisfaire les besoins nutritionnels des porcs. Le zinc et le cuivre sont reconnus comme facteurs de croissance, mais leur utilisation à fortes doses dans les aliments est néfaste pour l'environnement. Les régimes alimentaires des porcs contiennent également des quantités supplémentaires, ajoutées sous forme minérale, de fer, de manganèse, de cobalt, d'iode et de sélénium. Les quantités nécessaires dans les régimes alimentaires des porcs sont décrites séparément pour chaque élément. La vitamine E et la choline sont les vitamines ajoutées les plus onéreuses. Dans ces conditions, il est courant de constater que la choline n'est pas ajoutée aux aliments des porcs à l'engraissement, compte tenu des teneurs jugées suffisantes en choline des matières premières. De même, la vitamine E est incorporée à une teneur inférieure à celle permettant d'améliorer la qualité de la viande. Les travaux récents de l'IFIP ont évalué l'intérêt d'apports supplémentaires de vitamines comparé aux pratiques habituelles observées en élevage. Nos résultats montrent peu d'amélioration des performances et nous amènent à considérer que les recommandations proposées par l'INRA en 1984 sont amplement justifiées.*

### What mineral and vitamin levels to recommend in swine diets?

*Minerals, including trace-elements, and vitamins are currently introduced into pig diets in order to obtain suitable performances. Minerals and vitamins contained in most cereals and usual protein compounds present usually a poor and variable availability. Supplemental diets are then usually needed. This paper, based on literature data, reviews the pig requirement for minerals and vitamins in order to ensure economic and profitable performance. Recent research has focused on phosphorus due to environmental considerations. The widespread use of microbial phytase has decreased the use of inorganic phosphates. Cereals are particularly deficient in calcium and sodium, consequently limestone and salt are necessary to meet the pig requirement for these minerals. Zinc and copper are recognized as growth promoting agents but their use at high levels is detrimental to the environment. The pig diets usually contain supplemental contents of iron, manganese, cobalt, iodine and selenium. The need for these elements in pig diets is described individually. Vitamin E and choline represent the most expensive vitamins added. Choline is then usually not incorporated into the pig fattening diet taking into account the choline contents of the raw materials, while vitamin E is included at a lower level than that which improves the meat quality. Our recent research has dealt with increased levels of vitamins added in combination, compared with most common levels used in farm. Few improvements have been obtained in this way, suggesting that recommendations proposed by INRA in 1984 are mainly justified.*

**Mots clés :** Nutrition, minéraux, oligo-éléments, vitamines, performances, besoins  
Keywords: Feed, mineral, trace-elements, vitamins, performances, requirements

## Introduction

Les minéraux, y compris les oligoéléments, et les vitamines sont des nutriments essentiels pour les porcs. Des formes de complémentation sont habituellement ajoutées aux aliments car les matières premières ne sont pas suffisamment pourvues en ces éléments pour pouvoir satisfaire les besoins du porc d'élevage conventionnel. La disponibilité faible et variable des minéraux, oligoéléments et vitamines des matières premières accroît cette disparité. Les minéraux, oligoéléments et vitamines ajoutés représentent moins de 3 % du poids de l'aliment. Classiquement, le coût de ces ingrédients est principalement déterminé par les phosphates et les vitamines ajoutées, dont les prix ont tendance à fluctuer considérablement à certaines périodes.

Dans la pratique, les vitamines et les oligoéléments sont habituellement associés au sein d'un même pré-mélange incorporé dans l'aliment à hauteur de l'ordre de, 0,10, 0,15 et 0,30 % respectivement, pour les porcs en engraissement, les truies et les porcelets. Les minéraux sont incorporés séparément. Dans le cas de la fabrication d'aliment à la ferme qui représente environ 25 % de la production d'aliments porcs en France, ils sont ajoutés au pré-mélange de vitamines et d'oligoéléments. Le taux d'incorporation des pré-mélanges a tendance à diminuer dans le but de réduire le coût des aliments ; incorporé au taux de 1 % auparavant, il peut atteindre moins de 0,3 % aujourd'hui. Compte tenu de cette évolution, il est utile de rappeler que la préservation de la qualité du mélange est essentielle en matière d'alimentation minérale et vitaminique.

La première partie de cet article présente **les besoins des porcs en minéraux et oligoéléments**. Une attention particulière est accordée aux éléments ayant **un impact sur l'environnement ainsi que sur les coûts**.

La deuxième partie traite des **besoins en vitamines** et propose des **recommandations** permettant d'assurer des performances technico-économiques satisfaisantes.

Les aspects relatifs aux fonctions métaboliques de chaque vitamine ne font pas l'objet de cet article.

## Minéraux et oligoéléments

Les régimes alimentaires des porcs sont habituellement supplémentés avec **du carbonate de calcium, du phosphate et du sel afin de satisfaire les besoins en calcium, en phosphore et en sodium des animaux**.

Le Tableau 1 permet d'illustrer le fait que **le contenu en calcium et en sodium des céréales et du tourteau de soja ne permet pas de satisfaire les besoins des porcs**. Le phosphore est quant à lui présent à des teneurs plus élevées dans ces matières premières, mais 60 à 75 % de ce phosphore sont sous forme de **phytate dont la disponibilité est faible pour le porc**. En conséquence, des phosphates minéraux doivent être ajoutés aux aliments.

Depuis plusieurs années, **des phytases microbiennes sont ajoutées aux aliments** ; elles permettent d'agir sur les phytates présents dans les matières premières végétales et ainsi de rendre disponible le phosphore d'origine phytique et au final de permettre son absorption par la paroi intestinale. L'utilisation de ces enzymes s'est généralisée et amplifiée au cours de ces dernières années, notamment **lors des périodes de hausse du cours des phosphates minéraux**.

**Tableau 1 : Teneurs en calcium, phosphore et sodium de quelques matières premières (INRA-AFZ, 2004)**

g/kg	Calcium	Phosphore	Sodium
Blé	0,7	3,2	0,1
Maïs	0,4	2,6	0,04
Son de blé	1,4	9,9	0,1
Tourteau de soja	3,4	6,2	0,3
Farine de poisson	38,5	25,2	11,3

Plusieurs oligoéléments sont communément ajoutés au régime alimentaire des porcs afin de s'assurer de la couverture de leurs besoins ; il s'agit du **fer, du cuivre, du manganèse, du zinc, de l'iode, du cobalt et du sélénium**.

Les matières premières contiennent des quantités insuffisantes de ces nutriments, notamment en zinc, iode et sélénium (Tableau 2). De plus, leurs disponibilités sont mal connues et considérées comme faibles. Enfin, les conditions d'élevage classique des porcs en bâtiment ne permettent pas un accès aux ressources potentielles en oligoéléments présentes dans le milieu naturel. En conséquence, les aliments nécessitent une supplémentation en oligoéléments sous forme de sels inorganiques. Il faut également garder à l'esprit que des interactions entre minéraux existent, et qu'elles peuvent conduire à une carence induite pour un minéral donné, en raison d'un taux excessif d'un autre minéral (Perez, 1978) : les antagonismes entre le cuivre et fer, le cuivre et le zinc, l'iode et le fer, le calcium et le cuivre et le calcium et le zinc sont généralement cités.

D'autres minéraux tels que le magnésium, le potassium, le soufre, le chlore, le chrome ou le molybdène, sont présents

**Tableau 2 : Teneurs en fer, zinc, manganèse, cuivre, iode, cobalt et sélénium de quelques matières premières (INRA-AFZ, 2004)**

mg/kg	Fer	Zinc	Manganèse	Cuivre	Iode	Cobalt	Sélénium
Blé	47	27	34	5	0,06	0,02	0,12
Maïs	32	19	8	2	0,09	0,05	0,10
Son de blé	143	74	112	17	0,08	0,09	0,47
Tourteau de soja	283	47	38	18	0,15	0,26	0,20
Farine de poisson	351	85	13	7	2,00	0,09	0,40

à des teneurs plus élevées dans les matières premières que les besoins des porcs ; une supplémentation spécifique n'est donc pas nécessaire dans ce cas.

**Le risque environnemental** représenté par l'accumulation des minéraux dans les sols cultivés a été souligné ces dernières décennies, en particulier dans les zones présentant de forte concentration en productions animales. Pour cette raison, de nombreuses études ont été réalisées dans le but de diminuer l'excrétion de phosphore, cuivre et zinc des porcs. Dans le même temps, des réglementations nationales et européennes ont été adoptées afin de prévenir ce risque environnemental. Dans la mesure où, malgré ces évolutions réglementaires, l'exportation de ces minéraux par les plantes cultivées continue d'être inférieure aux apports représentés par les lisiers, il est à craindre que d'autres contraintes soient mises en œuvre à l'avenir.

Il faut aussi rappeler que d'un point de vue économique, les coûts de traitement du lisier en cas d'excédents sont un frein au développement de la production porcine.

## Minéraux

### Calcium et phosphore

Le calcium et le phosphore sont essentiels au développement et à la constitution du squelette. Dans l'alimentation, le calcium provient essentiellement du carbonate de calcium (38 % de calcium). Les phosphates minéraux contiennent des teneurs élevées de calcium et de phosphore (respectivement, 24,5 et 17,5 % de calcium et de phosphore dans le phosphate bicalcique).

La farine de poisson, les produits à base de lactosérum et les protéines animales transformées contiennent des teneurs importantes de calcium et de phosphore, mais leur utilisation est limitée, voire interdite, dans les pays d'Europe occidentale. On estime les besoins en calcium et en phosphore du porc par la méthode factorielle qui différencie les besoins d'entretien et de production durant les périodes de croissance, de gestation ou de lactation. La méthode factorielle détermine le besoin de production sur la base d'une minéralisation optimale du squelette (INRA, 1984). Un coefficient d'utilisation digestive est appliqué au besoin représentant la somme des besoins d'entretien et de production.

Cette méthode permet d'estimer un besoin en calcium d'environ 7 à 11 g par kg de gain de poids avec un coefficient d'utilisation digestive proche de 50 % (INRA, 1984). Dans le cas du phosphore, ce coefficient est bien plus variable et dépend des matières premières. Plusieurs études ont été menées durant ces dernières années afin d'estimer la digestibilité du phosphore des principaux composants du régime alimentaire des porcs.

Selon l'INRA-AFZ (2004), les coefficients de digestibilité du phosphore sont en moyenne, respectivement, de 28 et

32 % pour le maïs et le tourteau de soja, ce qui correspond à des teneurs en phosphore digestible de 0,7 et 2,0 g/kg.

Dans le cas des phosphates minéraux, les coefficients de digestibilité du phosphore sont, respectivement, de 69 et de 83 % pour les phosphates bicalcique et monocalcique. Les phytases végétales, naturellement présentes dans les céréales à paille, améliorent théoriquement la teneur en phosphore digestible de 1,0 à 1,4 g par kg de blé, et de 1,1 à 1,4 g par kg d'orge. En raison de la faible résistance de ces phytases lors de la granulation des aliments, du manque de connaissance quant à leur réelle activité, et surtout de l'incapacité de prédire leur teneur dans les matières premières, il est courant de ne pas tenir compte de la contribution de ces enzymes végétales.

Les phytases ajoutées ou microbiennes sont mieux connues et leur profil d'activité mieux défini. Le Tableau 3 présente celui de la phytase Natuphos® (BASF AG, Ludwigshafen, Allemagne). Il convient de remarquer que l'équivalence de phosphore digestible correspondant à l'utilisation de 100 UI/kg de phytase décroît avec l'augmentation des quantités de phytase ajoutées ; cette caractéristique étant commune aux différentes phytases disponibles.

Par exemple, 500 UI/kg de cette phytase représentent un équivalent de 0,75 g/kg. Le fait de doubler la teneur en phytase ne permet pas de doubler l'équivalence en phosphore digestible : 1000 UI/kg de phytase permettent un équivalent de 0,95 g/kg de phosphore digestible.

Pour tenir compte de ce profil d'activité non linéaire, nous préconisons d'utiliser 4 fonctions linéaires d'activité de la phytase ayant chacune une équivalence en phosphore digestible adaptée (pour plus de détail, voir la synthèse de Gaudré *et al.*, 2008).

**Tableau 3 : Equivalences en phosphore digestible de la phytase Natuphos® (FTU)/kg d'aliment (d'après Jondreville, 2004)**

g/kg	Phosphore digestible/100 FTU
0 à 250 FTU/kg	0,196
250 à 500 FTU/kg	0,104
500 à 750 FTU/kg	0,052
750 à 1000 FTU/kg	0,028

Castaing *et al.* (2003) concluent, sur la base de 17 expériences, que la performance optimale de croissance et d'efficacité alimentaire est obtenue avec, respectivement, 2,5 et 2,0 g de phosphore digestible par kg d'aliment pendant les périodes de croissance (25-65 kg de poids vif) et de finition (65-115kg). Ces teneurs sont en accord avec les valeurs estimées par l'approche factorielle. Les résultats IFIP plus récents (Gaudré *et al.*, 2013) indiquent que les ratios de 0,22 et 0,18 g de phosphore digestible par MJ d'énergie nette, peuvent être retenus, respectivement en croissance et en finition.

En ce qui concerne les autres stades physiologiques, la teneur en phosphore digestible recommandée est comprise entre 3,5 et 4,0 g/kg pour le porcelet sevré et la truie allaitante et est de 2,7 g/kg pour la truie gestante.

**Tableau 4 : Symptômes pouvant être associés à une carence en oligoéléments chez le porc (Perez, 1978)**

	Fer	Zinc	Manganèse	Cuivre	Iode	Sélénium
Appétit	*	**			*	
Performances	*	**	*	*	*	*
Troubles de la fertilité		*	**		*	
Troubles du squelette		*	**	**		?
Anémie	**			*		
Anomalies de la peau ou des poils		**		*	*	
Troubles cardiaques				*		
Goitre					**	
Dystrophie musculaire						*

Les métabolismes du calcium et du phosphore sont étroitement liés (dépôt osseux), ce qui **légitime la prise en compte du rapport entre teneurs en calcium et phosphore lors de la formulation des aliments**. A partir du moment où le phosphore digestible sert de contrainte de formulation, il devient utile de faire référence au rapport entre teneurs en calcium et phosphore digestible au lieu de continuer à considérer le rapport entre teneurs en calcium et phosphore. Pour Jongbloed *et al.* (1999), le rapport entre teneurs en calcium et phosphore digestible devrait se situer entre 2,7 et 3,2 g/g pour les porcelets et les porcs en cours de croissance. **Un déficit de calcium est préjudiciable au dépôt osseux, mais l'excès de calcium est particulièrement nuisible à l'activité de la phytase**, en raison de la création d'un complexe entre calcium et phosphore d'origine végétale, qui rend ce dernier inaccessible à la phytase ajoutée.

### Sodium

Les aliments pour porcs contiennent normalement 3 à 5 kg/t de chlorure de sodium (38 % Na) afin de répondre aux besoins des porcs estimés à 1,5 g de sodium par kg de matière sèche d'aliment (INRA, 1984). Les recommandations de Jongbloed *et al.* (1999) sont inférieures (1,0 g/kg d'aliment) à cette recommandation. Cependant, l'apport de chlorure de sodium est d'un **coût négligeable**, et un aliment déficient en sodium conduit à **une perte d'appétit des animaux**. Le chlorure de sodium peut devenir néfaste à la santé des animaux, mais pour des teneurs élevées (supérieures à 20 kg/tonne) surtout lorsque les **possibilités d'abreuvement** sont limitées (Perez, 1978). Les résultats IFIP indiquent que 3 g de sodium par kg d'aliment, associé ou pas à 12 g de potassium par kg, ne détériore pas les performances des porcs à l'engraissement (Alibert, 2012). Les teneurs en sodium, potassium et chlore sont habituellement prises en compte conjointement dans le **bilan électrolytique (BE)**. Le BE est exprimé en mEq par kg d'aliment, il augmente avec les teneurs en sodium et potassium de l'aliment, et diminue avec celle en chlore. Le BE diminue quand le régime alimentaire tend à devenir acidifiant pour l'organisme et inversement. La réduction de la teneur totale en protéines des aliments obtenue par la diminution de l'incorporation des tourteaux d'oléagineux, a pour conséquence une réduction de la teneur en potassium, conduisant ainsi à des régimes ali-

mentaires plus acidifiants. Cette réduction peut être accentuée quand la teneur en lysine est maintenue constante par des apports d'origine synthétique (Lysine HCl).

La synthèse bibliographique de Quiniou (2002) préconise de maintenir le BE de l'aliment entre 100 et 275 mEq/kg pour le porcelet sevré, et entre 175 et 300 mEq/kg pour le porc en période de croissance et de finition. Dans le cas de la truie, un régime alimentaire à faible BE peut induire une déminéralisation du squelette (Dourmad et Meschy, 1998).

Le **bicarbonate de sodium** est utilisé pour corriger le BE de l'aliment lorsque cela est nécessaire.

### Oligoéléments

Dans la plupart des conditions d'hébergement, les porcs n'ont pas accès à la terre ou à une quelconque ressource alimentaire autre que celle de l'aliment distribué. En conséquence, la nécessité d'une supplémentation minérale augmente vraisemblablement avec la généralisation de l'**élevage en bâtiment** des animaux (NRC, 1998). Les oligoéléments ont une activité catalytique pour l'essentiel (Perez, 1978) et peuvent être des constituants de molécules spécifiques comme l'iode et la thyroxine, le fer et l'hémoglobine. Le rôle des oligoéléments dans plusieurs symptômes de carence a été résumé par Perez (1978, Tableau 4). Il existe des possibilités d'interactions digestives entre oligoéléments ou entre oligoéléments et certains composés des aliments, ce qui peut contribuer à augmenter les besoins des porcs.

Il convient de noter aussi que les symptômes de carence en oligoéléments ne sont pas spécifiques et ne permettent pas de déterminer facilement la réalité des besoins des porcs. Les teneurs recommandées dans les aliments intègrent de ce fait des marges de sécurité (Tableau 5).

**Tableau 5 : Teneurs recommandées en oligoéléments (INRA, 1984)**

mg/kg	Porcelet	Porc	Truie
Fer	100	80	80
Zinc	100	100	100
Cuivre	10	10	10
Manganèse	40	40	40
Iode	0,6	0,2	0,6
Cobalt	0,1-0,5	0,1	0,1
Sélénium	0,3	0,1	0,1

## Fer

Le fer est un constituant bien connu de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges du sang, mais c'est aussi le composant de plusieurs molécules, comme la myoglobine du muscle ou la ferritine du foie. L'injection intramusculaire de fer est pratiquée communément pour répondre aux besoins du porcelet non sevré en raison de la carence en fer du lait de truie. Après le sevrage, les besoins sont d'environ 80 mg/kg et tendent à diminuer pendant la période d'engraissement en relation avec la contribution relative plus faible du sang au gain de poids (NRC, 1998). Les régimes alimentaires contiennent habituellement de l'ordre de 100 mg/kg de fer afin d'éviter tout risque de carence, bien que les teneurs et les disponibilités du fer provenant des matières premières soient considérées comme suffisamment élevées pour le porc (NRC, 1998).

## Zinc

Le zinc est un élément essentiel au fonctionnement de nombreuses enzymes. De ce fait, il est impliqué dans la plupart des métabolismes. Certains constituants des aliments sont connus pour augmenter les besoins en zinc, en particulier les phytates végétaux et le calcium (NRC, 1998). En conséquence, du sulfate ou de l'oxyde de zinc est ajouté de façon courante au régime alimentaire des porcs, à hauteur de 100 mg de zinc par kg environ. L'oxyde de zinc est utilisé à fortes doses (2000 à 3000 mg de zinc par kg) dans le régime de porcelets sevrés, dans le but de limiter les risques de diarrhée et de soutenir la croissance des animaux. Cette pratique est interdite en France, en Allemagne et aux Pays-Bas, alors que l'Espagne, le Danemark, l'Angleterre et l'Italie l'autorisent dans le cadre d'une prescription vétérinaire, pendant les deux premières semaines post-sevrage. Pour les fabricants d'aliments français, cette pratique est considérée comme une concurrence déloyale. Cependant, un excès de zinc alimentaire a un effet néfaste pour l'environnement. La rétention de zinc par le porc n'est que de 22 mg/kg de poids (Dourmad *et al.*, 2002). La plus grande partie du zinc ingéré est donc excrétée dans le lisier (Revy *et al.*, 2003). Dans ce contexte, la teneur maximale en zinc (zinc provenant des aliments et de la supplémentation minérale) autorisée dans l'Union Européenne a été ramenée de 250 à 150 mg/kg en 2003. L'emploi de phytase peut permettre de réduire la teneur en zinc des aliments. Gaudré *et al.* (2006) montrent que 750 UI de phytase Natuphos® peuvent remplacer 40 mg/kg de zinc apporté sous forme minérale.

## Manganèse

Le manganèse est essentiel au développement du squelette. C'est le composant de nombreuses enzymes impliquées dans le métabolisme des protéines, des lipides et des glucides.

Un régime alimentaire de la truie déficient en manganèse peut induire des troubles de la reproduction (Perez, 1978). L'estimation du besoin en manganèse des truies (20 mg/kg d'aliment) par le NRC (1998) est basée sur des études démontrant une diminution du poids des porcelets à la naissance, associée à un retard de venue en chaleur après sevrage, lorsque l'aliment contient seulement 5 mg de manganèse par kg (comparé à 20 mg/kg, Christianson *et al.*, 1990). Kirchgessner *et al.* (1981) évaluent le besoin en manganèse de la truie à 25 mg/kg d'aliment et l'INRA (1984) recommande un apport de 40 mg/kg afin d'éviter toute carence alimentaire. La forme de supplémentation habituelle est l'oxyde de manganèse.

## Cuivre

Le cuivre intervient dans les mécanismes de défense de l'organisme contre le stress oxydant. Il est également indispensable pour la synthèse de l'hémoglobine et est impliqué dans le fonctionnement du système immunitaire (Jondreville *et al.*, 2002). Si les besoins du porc sont inférieurs à 10 mg/kg d'aliment (NRC, 1998), la supplémentation habituelle, sous la forme de sulfate de cuivre, dans le régime alimentaire des porcelets est souvent proche de 150 mg/kg du fait d'un effet facteur de croissance à ce stade. La rétention du cuivre est égale à moins de 2 mg par kg de gain (Jondreville *et al.*, 2002). Par conséquent, la plus grande partie du cuivre ingéré est excrétée. Des réglementations européennes applicables en France, concernant la teneur totale en cuivre dans les aliments ont été adoptées en 2003 pour des motifs environnementaux. Ceci a conduit à un changement drastique dans la supplémentation en cuivre pendant les périodes de croissance et de finition. La teneur maximale en cuivre dans les aliments est maintenant de 25 mg/kg d'aliment, alors qu'elle était de 100 mg/kg avant 2003. D'après plusieurs observations en élevages, ce changement a conduit à une fréquence plus importante des troubles intestinaux, en particulier au début de la phase de croissance et dans des conditions d'élevage non satisfaisantes sur le plan de l'hygiène. Il est difficile de se prononcer sur le fait que cette réglementation ait entraîné une augmentation de l'utilisation des antibiotiques.

## Iode

La plus grande partie de l'iode contenue dans l'organisme est contenue dans la glande thyroïde du porc. Cet oligo-élément est un composé de la thyroxine, hormone dont le rôle est de réguler le fonctionnement métabolique (NRC, 1998). Une carence entraîne une augmentation du nombre des porcelets mort-nés. La présence de substances goitrigènes dans diverses matières alimentaires comme le tourteau de soja peut contribuer à augmenter les besoins (NRC, 1998). Cromwell *et al.* (1975) établissent que les besoins du porc en période d'engraissement, recevant un aliment

à base de maïs et de tourteau de soja, sont compris entre 0,09 et 0,14 mg/kg. Le régime alimentaire des porcs est le plus souvent supplémenté largement sous forme d'iodate de calcium ou de sels d'iode.

## Cobalt

Le cobalt est un composant de la cyanocobalamine (vitamine B12). Il n'est pas démontré que le porc nécessite un supplément nutritionnel de cobalt (NRC, 1998). La synthèse de cyanocobalamine se produit dans la partie distale de l'intestin du porc (Perez, 1978). En se basant sur la supplémentation en cyanocobalamine de l'alimentation et sur la tendance du porc à la coprophagie, on peut admettre que la supplémentation en cobalt n'est pas nécessaire.

Compte tenu également du danger de manipulation de sources concentrées de cobalt, le sel de sulfate de cobalt est parfois retiré du régime alimentaire.

## Sélénium

Le sélénium, en tant que composant de la glutathion peroxydase, participe, en association avec la vitamine E, à la défense des membranes cellulaires contre le stress oxydant (NRC, 1998). En se basant sur l'activité de la glutathion peroxydase dans le plasma, Mahan *et al.* (1999) concluent que, respectivement, 0,10 et 0,05 mg/kg de sélénium ajouté suffisent en périodes de croissance et de finition. Aucune amélioration des performances ou des caractéristiques des carcasses n'est observé avec des teneurs allant jusqu'à 0,3 mg/kg. Les résultats de Mahan et Peters (2004) indiquent que la mortalité néonatale est réduite avec 0,15 mg/kg de sélénium ajouté que ce soit sous forme de sélénite de sodium ou de sélénium organique. Aucun effet supplémentaire n'est observé avec 0,3 mg/kg, alors que la supplémentation organique a pour conséquence une plus grande concentration de sélénium dans le lait, mais est sans effet sur les performances des porcelets allaités. En raison de la variabilité de la concentration et de la disponibilité du sélénium contenu dans le sol de plusieurs régions des Etats-Unis, des suppléments alimentaires de sélénium ont été incorporés puis progressivement revus à la hausse dans l'alimentation des porcs (Ullrey, 1992). Ainsi, cette incorporation est devenue possible en 1974 aux Etats-Unis, et la teneur maximale autorisée est passée de 0,1 à 0,3 mg/kg entre 1974 et 1987. Comme pour d'autres oligoéléments, l'effet sur l'environnement d'un excès de sélénium dans l'alimentation des animaux et par conséquent dans les rejets des animaux peut être néfaste. Dans l'Union Européenne, la teneur maximale dans les aliments ne doit pas dépasser 0,5 mg/kg. Une teneur de 5 mg/kg est considérée comme toxique pour le porc (Perez, 1978).

## Vitamines

Les vitamines sont des nutriments essentiels pour les animaux. La plupart d'entre elles peuvent être définies comme des substances que l'animal ne peut pas synthétiser, actives à faible dose et non interchangeables (Ferrando *et al.*, 1986).

On distingue couramment deux groupes de vitamines en fonction de leur solubilité. Les vitamines A, D, E et K sont liposolubles, alors que les vitamines B sont hydrosolubles. Les vitamines D et K participent respectivement au métabolisme des minéraux et à la coagulation sanguine.

Les vitamines A et E interviennent dans nombre de voies métaboliques et, en conséquence, sont impliquées dans le niveau de performances global des animaux. Les vitamines de groupe B sont des coenzymes indispensables au fonctionnement des métabolismes énergétiques et protéiques. Les matières premières contiennent des vitamines, mais leur contribution nutritionnelle est difficile à appréhender clairement. La teneur en vitamine contenue dans les matières premières peut varier selon les publications. Ainsi, la pyridoxine (B6) existe sous trois formes de composés actifs qui compliquent les analyses en laboratoire (INRA, 1984) et peut expliquer les différences entre tables de composition nutritionnelle. La teneur en vitamine des matières premières peut aussi varier selon les récoltes et les variétés culturales utilisées ; c'est ainsi le cas pour la biotine (H) des céréales (INRA, 1984). Les vitamines des matières premières peuvent exister sous plusieurs formes moléculaires ayant des activités métaboliques très différentes. L'isomère L de la biotine (H) est une forme biologiquement inactive chez le porc (NRC, 1998). La niacine (PP) des céréales est largement indisponible pour les porcelets (NRC, 1998). La vitamine E est présente dans les matières alimentaires sous 8 formes naturelles ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ -tocophérols et tocotriénols), ayant chacune leur propre activité vitaminique E. Les interactions entre les composants alimentaires et les vitamines doivent aussi être mentionnées car elles peuvent augmenter ou diminuer le besoin de telle ou telle vitamine. La présence de méthionine rend la cyanocobalamine (B12) moins indispensable, comme la présence de tryptophane pour la niacine (PP), ces deux acides aminés agissant comme des facteurs d'épargne pour ces deux vitamines. De plus, les vitamines naturellement présentes dans les matières premières sont instables, surtout en ce qui concerne les tocophérols et les tocotriénols. Il en est de même pour la thiamine (B1) en cas de traitement thermique.

Le tractus gastro-intestinal est colonisé par de nombreuses populations bactériennes. On observe une activité de production de vitamine K, d'acide folique (B9), de cyanocobalamine (B12), de niacine (PP) et de biotine (H) dans le gros intestin. A l'exception de la vitamine K qui peut être directement absorbée par la paroi intestinale, l'utilisation de ces vitamines produites dans l'intestin se fait par la coprophagie. La généralisation de l'élevage sur caillebotis, pour des

raisons évidentes d'hygiène et de confort de travail pour les éleveurs, tend donc à réduire cet apport potentiel de vitamines du groupe B.

Malgré cela, les recommandations d'apports vitaminiques s'appuient sur la contribution des matières premières et les synthèses bactériennes dans un certain nombre de cas. Il en est ainsi pour la thiamine (B1), la riboflavine (B2), l'acide pantothénique (B5), la niacine (PP), la biotine (H), la choline, la pyridoxine (B6), l'acide folique (B9) et la vitamine E des matières premières.

Il en est de même pour la vitamine K, l'acide folique (B9), la cyanocobalamine (B12), la biotine (H) et la niacine (PP) provenant des synthèses bactériennes.

Les recherches concernant les besoins en vitamines des animaux sont particulièrement complexes. Les symptômes de carence ne sont pas spécifiques, en particulier pour les vitamines hydrosolubles. Il est nécessaire de préparer des régimes alimentaires synthétiques afin d'éviter la présence de vitamines provenant des matières premières.

D'autre part, il faut tenir compte des possibilités de synthèse intestinale, et de la présence de composés de l'aliment pouvant potentiellement constituer un facteur d'épargne de la vitamine, ou au contraire augmenter le besoin.

Le stockage hépatique est à considérer attentivement pour l'évaluation des besoins en vitamines A, E et B12.

Les recommandations minimales d'apport pour la plupart des vitamines ont été déterminées dans les années 1940 et 1950 à partir d'un modèle animal forcément très éloigné du porc contemporain. Certains auteurs soulignent de ce fait un risque potentiel de sous-évaluation des besoins vitaminiques des porcs contemporains. Compte tenu du fait que la seule observation des performances peut être considérée comme un critère insuffisant de l'évaluation des besoins vitaminiques réels, d'autres paramètres en rapport avec la composition chimique du sang, des os, du foie, du colostrum ou du lait sont développés et déterminés afin de mieux cerner la teneur vitaminique la plus intéressante. Ces paramètres sont choisis selon le rôle métabolique de la vitamine étudiée. Parfois, les teneurs qui optimisent les performances sont inférieures à celles qui optimisent la concentration ou le dosage du paramètre retenu.

Dans ce cas, il peut être utile de prendre en compte l'effet sur le coût de supplémentation vitaminique de l'aliment.

Les références bibliographiques présentées répertorient, vitamine par vitamine, les travaux les plus notables.

Il faut souligner que la plupart des études, et des recommandations qui en découlent, reposent sur une distribution régulière de vitamines via l'alimentation.

En effet, les apports ponctuels à fortes doses apparaissent difficiles à justifier pour les vitamines du groupe B à l'exception de la cyanocobalamine (B12), compte tenu des capacités de stockage limitées de l'organisme. De même, les capacités de stockage hépatique de la vitamine E sont réduites.

## Vitamine A

Des supplémentations en vitamine A de 40000 UI/kg pour les porcelets et de 50000 UI/kg pour les porcs ne permettent pas d'améliorer l'efficacité alimentaire ou la vitesse de croissance. A l'inverse, de faibles teneurs (<500 UI/kg) sont suffisantes pour maximiser les performances.

Les études sur les besoins en vitamine A des truies exigent une période expérimentale suffisamment longue pour tenir compte de la capacité de stockage élevée du foie.

La sensibilité à l'oxydation de la vitamine A d'origine naturelle et, dans une moindre mesure, de la vitamine A de synthèse sont à considérer. **La supplémentation de la vitamine A à hauteur de 5000 UI/kg représente un coût de l'ordre de 0,15 € par tonne d'aliment.**

## Vitamines D et K

La capacité des porcs à supporter une carence en vitamine D est élevée (Pointillart, 1980), tandis que la synthèse bactérienne au niveau intestinal de la vitamine K permet de répondre en partie aux besoins du porc. Cependant, le coût de ces supplémentations est réduit. Les teneurs ajoutées sont habituellement proches de **2000 UI/kg pour la vitamine D et comprises entre 0,5 et 1,0 mg/kg pour la vitamine K.**

## Vitamine E

**La vitamine E est la vitamine la plus coûteuse.** Une supplémentation de seulement 10 UI par kg d'aliment peut représenter un coût de 0,35 € par tonne. Les besoins en vitamine E du porc en croissance sont passés en revue par Ullrey (1981) à partir de 22 publications. Il en ressort qu'une supplémentation en vitamine E comprise entre 10 et 20 UI par kg d'aliment, permet de satisfaire les besoins des porcs dans la plupart des cas. Une teneur de 30 UI/kg peut être proposée afin de s'assurer d'une marge de sécurité. A l'inverse, une teneur de 5 UI/kg est considérée comme insuffisante. Jensen *et al.* (1988) aboutissent à des conclusions similaires ; ils recommandent 15 UI/kg, voire 30 UI/kg dans le cas où l'on voudrait tenir compte de la variabilité des besoins des porcs. De nombreuses études se sont intéressées à l'effet de la **vitamine E sur la qualité de la viande.** Cependant, elles indiquent que 100 à 200 UI/kg sont nécessaires pour modifier favorablement la couleur de la viande et/ou sa résistance à l'oxydation. L'antagonisme entre les vitamines A et E lié à l'absorption intestinale a été démontré par Ching *et al.* (2002) dans le cas de porcelets. La teneur du sang en tocophérol est réduite de 20 à 30 % lorsque la supplémentation en vitamine A augmente de 2200 à 13200 UI/kg. Cet antagonisme n'a cependant pas été confirmé pour les porcs en engraissement avec 20000 UI/kg de vitamine A (Anderson *et al.*, 1995). La supplémentation en vitamine E des aliments pour truies s'est accrue en France **depuis le début des années 90 (de 20 à 80 UI/kg)**, en réponse à la généralisation de l'utilisation des **truies hyper-prolififiques.** L'évolution favorable du coût de supplémentation a contri-

bué également à ce changement. Cependant, les preuves de l'intérêt d'une supplémentation de cet ordre sont rares. Mahan (1994) recommande 44 UI/kg pour les truies gestantes et allaitantes sur la base d'une légère augmentation du nombre de porcelets nés vivants.

### Thiamine

La thiamine (B1) est abondante dans les céréales et le tourteau de soja (> 4 mg/kg). Quel que soit le stade physiologique, les essais ne mettent pas en évidence d'amélioration des performances avec plus de 1 mg/kg de thiamine ajouté (Newcomb et Allee, 1986 ; Woodworth *et al.*, 2000 ; Easter *et al.*, 1983 ; Lutz *et al.*, 1999).

### Riboflavine

Lutz et Stahly (1998) observent une augmentation linéaire du gain moyen quotidien, de l'indice de consommation et du dépôt protéique des porcelets à fort potentiel de croissance avec 3,7 et 7,4 mg/kg de riboflavine (B2) ajoutée (Tableau 6). Selon ces auteurs, la quantité de riboflavine nécessaire au dépôt protéique est 6 fois supérieure à celle nécessaire aux dépôts adipeux, avec pour conséquence, un besoin en riboflavine dépendant directement du potentiel génétique des porcs. Les résultats IFIP (Gaudré et Granier, 2009) ne montrent cependant aucun changement significatif des performances d'engraissement des porcs, ni des caractéristiques de carcasses, jusqu'à 18 mg/kg de riboflavine (Tableau 7). Dans cette expérience, la teneur minimale de riboflavine est de 3 mg/kg, auxquels il faut ajouter 1,6 mg/kg provenant des matières premières..

**Tableau 6 : Effet de l'apport de riboflavine sur les performances des porcelets (Lutz et Stahly, 1998)**

Apport de riboflavine mg/kg	0	3,7	7,4
GMQ (g/j)	645	677	696
IC (kg/kg)	1,43	1,36	1,34
Dépôt protéique (g/j)	110	115	118

**Tableau 7 : Effet de l'apport de riboflavine sur les performances des porcs (Gaudré et Granier, 2009)**

Apport de riboflavine mg/kg	3	6	9	18
GMQ (g/j)	938	961	946	927
IC (kg/kg)	2,80	2,80	2,80	2,74
Épaisseur de maigre (mm)	56,0	57,4	56,7	57,4

### Acide pantothénique

Des améliorations de performances sont observées avec des apports conséquents supplémentaires d'acide pantothénique (B5). Grinstead *et al.* (1988) obtiennent, pour des porcelets sevrés à 11 jours, une augmentation de la vitesse de croissance en ajoutant 120 mg/kg d'acide pantothénique. L'indice de consommation est amélioré avec une teneur de 30 mg/kg. Stahly et Lutz (2001) améliorent le pourcentage de muscle de la carcasse avec une teneur

de 30 mg/kg. Aucun effet significatif n'est observé sur les performances d'engraissement dans cet essai.

### Pyridoxine

Woodworth *et al.* (2000) améliorent la vitesse de croissance de porcelets sevrés avec 3,3 mg/kg de pyridoxine (B6) ajoutés à un aliment contenant 4,6 mg/kg de pyridoxine provenant des matières premières. Ces auteurs concluent que le besoin du porcelet sevré est de 7,9 mg de pyridoxine par kg d'aliment. Dans un essai antérieur, Newcomb et Allee (1986) n'observent pas de modification des performances avec ce même niveau de supplémentation.

### Acide folique

Du fait de la contribution des matières premières et des possibilités de synthèse intestinale, le besoin en acide folique (B9) est considéré comme négligeable, **sauf chez l'animal jeune et la truie gestante**. Les apports en acide folique testés par Easter *et al.* (1983), Newcomb et Allee (1986) et Lutz *et al.* (1999), n'apportent pas d'amélioration des performances des porcs. La prolificité des truies n'est pas accrue par des apports supplémentaires d'acide folique dans les essais de Harper *et al.* (1994) avec 1, 2 ou 4 mg/kg, et de Matte *et al.* (1992) avec 5 ou 15 mg/kg pendant toute la gestation. L'effet positif de la supplémentation en acide folique de l'alimentation des truies semble **dépendre du taux d'ovulation** (Lindemann et Kornegay, 1989) et du rang de portée des truies.

### Cyanocobalamine

Simard *et al.* (2004) observent une amélioration du nombre de porcelets à la naissance et au sevrage pour des teneurs élevées de cyanocobalamine (B12) ajoutée dans le régime alimentaire de truies gestantes (0,2 et 0,4 mg/kg).

Le stockage hépatique de cyanocobalamine chez les porcelets tend à augmenter dans le même temps.

Il convient de souligner que ce test n'a concerné que huit truies par traitement et nécessiterait une confirmation à une plus grande échelle. De plus, le coût de supplémentation de 0,2 à 0,4 mg/kg de cyanocobalamine correspond à un apport de 17 à 35 UI/kg de vitamine E ajoutée.

Pour le porcelet sevré, aucune amélioration de performances n'a été constatée en apportant jusqu'à 10 fois la quantité recommandée par le NRC (Lindeman *et al.*, 1995).

### Niacine

Une supplémentation en niacine (PP) est recommandée lorsque la teneur des matières premières est inférieure à 150 % du besoin minimal, établi respectivement à 33, 18 et 15 mg/kg pour le porcelet, le porc et la truie (INRA, 1984). Cette recommandation se base sur la faible disponibilité de la niacine des matières premières (**maïs** en particulier) et sur l'existence de molécules antagoniques de la niacine pouvant être présentes dans l'aliment.



**Tableau 8 : Effets de la supplémentation en biotine sur la productivité des truies**

Auteurs	mg/kg	Amélioration constatée
Hamilton & Veum (1984)	0,55	Porcelets sevrés de la première portée
Bryant et al. (1985b,c)	0,44	Tendance à la prolificité, intervalle entre sevrage et retour d'ovulation, lésions des pieds
Lewis et al. (1991)	0,33	Sevrés/nés vivants
Watkins et al. (1991)	0,44	Rien

Aucun effet significatif n'est observé par Copelin *et al.* (1980) et Ivers et Veum (1993), jusqu'à respectivement, 22 et 81 mg/kg de niacine ajoutée.

Real *et al.* (2002) démontrent cependant une amélioration des performances de croissance et de l'indice de consommation avec des apports de 13 à 55 mg/kg.

### Biotine

L'intérêt d'une supplémentation en biotine pour les porcelets sevrés et les porcs en engraissement n'est pas démontré (Easter *et al.*, 1983 ; Bryant *et al.*, 1985a ; Hamilton & Veum, 1986 ; Newcomb et Allee, 1986). En ce qui concerne les truies, plusieurs études tendent à conclure qu'une supplémentation en biotine est nécessaire (Hamilton & Veum, 1984 ; Bryant *et al.*, 1985b,c ; Lewis *et al.*, 1991) à l'exception de celle de Watkins *et al.* (1991). Les résultats de différents essais récapitulés dans le tableau 8, indiquent que 0,33 à 0,55 mg/kg pourrait améliorer les performances des truies.

### Choline

La choline n'est pas une vitamine au sens strict, mais une supplémentation peut être efficace en complément de la choline apportée par les matières premières. Les besoins des truies sont de 2000 mg/kg en tenant compte de toutes les sources de choline (INRA, 1984). Le NRC (1998) indique qu'une supplémentation en choline n'est pas nécessaire pour les porcs en engraissement dont le régime alimentaire est riche en tourteau de soja.

La choline étant très coûteuse (300 mg/kg représentent un coût de l'ordre de 0,6 €/tonne), elle est habituellement réservée aux truies et aux porcelets.

### Effets d'un apport combiné de vitamines

L'IFIP mène des études sur les besoins en vitamines des porcs dans des conditions classiques d'élevage. L'approche consiste le plus souvent à évaluer l'effet d'un apport supplémentaire simultané de plusieurs vitamines. Dans ces essais, le régime témoin correspond aux pratiques habituellement observées en termes de supplémentation vitaminique. L'essai mené en engraissement (Gaudré et Vautier, 2006), avec des teneurs élevées de supplémentation vitaminique (Tableau 9) ne met pas en évidence d'amélioration significative des performances d'élevage et des caractéristiques des carcasses. Cependant, une tendance à l'amélioration du gain moyen quotidien et de l'indice de consommation des porcelets sevrés dans des conditions dégradées d'élevage, est démontrée à la suite d'une augmentation modérée de l'apport de vitamines (Tableau 10). Ce résultat est identique à ceux publiés récemment pour les apports de vitamines B par Wilson *et al.* (1992a,b), Lindemann *et al.* (1995) et Stalhy *et al.* (1995), ou de vitamines B et de vitamines liposolubles par Castaing *et al.* (2001). En ce qui concerne les truies, une étude portant sur un effectif de 336 truies (Quiniou et Calvar, 2005) n'a montré aucune amélioration zootechnique liée à la distribution d'aliments enrichis en vitamines E, K et plusieurs vitamines du groupe B (Tableau 11).

**Tableau 9 : Teneurs vitaminiques comparées en périodes de croissance et d'engraissement (Gaudré et Vautier, 2006)**

Vitamines	Unité/kg	Période de croissance (25-60 kg)		Période de finition (60-115 kg)	
		Témoin	Test	Témoin	Test
A	UI	6260	10000	5700	8000
D3	UI	1200	2000	1075	1500
E	UI	9	60	8	50
K3	mg	0,26	3	0,12	1,5
B1 (Thiamine)	mg	0,5	2	0,4	1,5
B2 (Riboflavine)	mg	2,3	10	2	8
B5 (Acide pantothénique)	mg	7	40	6	40
B6 (Pyridoxine)	mg	0,5	4	0,4	3
B12 (Cyanocobalamine)	mg	0,014	0,04	0,012	0,035
PP (Niacine)	mg	11	30	10	30
Acide folique	mg	0	1	0	1
Biotine	mg	0	0,25	0	0,2
Choline	mg	300	300	200	200

**Tableau 10 : Teneurs vitaminiques comparées en post-sevrage (Gaudré, 2007)**

Vitamines	Unité/kg	Témoin	Test
A	UI	8000	12000
D3	UI	1500	2000
E	UI	20	60
K3	mg	0,5	2
B1 (Thiamine)	mg	1	2
B2 (Riboflavine)	mg	4	8
B5 (Acide pantothénique)	mg	10	20
B6 (Pyridoxine)	mg	1,5	3
B12 (Cyanocobalamine)	mg	0,015	0,03
PP (Niacine)	mg	15	45
Acide folique	mg	0,5	1
Biotine	mg	0	0,1
Choline	mg	300	450

**Tableau 11 : Teneurs vitaminiques comparées dans l'alimentation des truies (Quiniou et Calvar, 2005)**

Vitamines	Unité/kg	Témoin	Test
A	UI	9600	9600
D3	UI	1960	1960
E	UI	50	90
K3	mg	0,5	1
B1 (Thiamine)	mg	0,6	1,5
B2 (Riboflavine)	mg	4,2	6
B5 (Acide pantothénique)	mg	10	20
B6 (Pyridoxine)	mg	0,6	2,5
B12 (Cyanocobalamine)	mg	0,025	0,025
PP (Niacine)	mg	17	35
Acide folique	mg	1,8	3,5
Biotine	mg	0,15	0,30
Choline	mg	600	600

**Tableau 12 : Teneurs vitaminiques recommandées (IFIP, 2005)**

Vitamines Unités/kg	Coût	Porcelet		Porc		Truie	
		Poids vif 7-12 kg	Poids vif 12-25 kg	Poids vif 25-60 kg	Poids vif 60-115 kg	Gestante	Allaitante
A UI	\$\$	10000	8000	7000	5000	5000	8000
D3 UI	\$	2000	1500	1000	1000	2000	2000
E UI	\$\$\$	50	20	10-15	10-15	45	45
K3 mg	\$	1	0,5-1	0,5	0,5	0,5	0,5
B1 (Thiamine) mg	\$	1	0,5-1	0-1	0-1	1	1
B2 (Riboflavine) mg	\$\$	4-8*	4-8*	3	2	3	3
B5 (Acide pantothénique) mg	\$\$	10	10	8	7	8	8
PP (Niacine) mg	\$\$	15	15	10	7	10	10
B6 (Pyridoxine) mg	\$\$	0-3,6*	0-1	0	0	1	0
B12 (Cyanocobalamine) mg	\$\$	0,035	0,03	0,02	0,02	0,02-0,2	0,02
Acide folique mg	\$\$	0,5	0,5	0-0,5	0-0,3	0,2-15*	1-15*
Biotine mg	\$\$\$	0,1	0-0,1	0-0,05	0	0,3-0,5	0,3-0,5
Choline mg	\$\$\$	300-800	300-800	0-300	0-100	400-900	400-900

\*: Ces teneurs reposent sur un nombre limité d'essais

### Niveaux de vitamines recommandés par phase

L'examen de la bibliographie et la prise en compte de nos résultats d'essais décrits ci-dessus nous permettent de formuler des recommandations concernant l'apport de vitamines (Tableau 12). Ces recommandations reposent en partie sur celles établies par l'INRA en 1984.

Des plages de variation sont parfois indiquées compte tenu des diverses sources d'incertitude. Dans certains cas, des teneurs sont proposées, mais il est précisé qu'elles sont basées sur un nombre limité d'essais. L'évolution du prix des vitamines, l'intégration de nouvelles marges de sécurité, l'amélioration des connaissances peuvent conduire à suggérer d'autres recommandations.

### Conclusion

L'inclusion de minéraux, y compris d'oligo-éléments, et de vitamines dans le régime alimentaire des porcs est

nécessaire pour assurer l'optimisation des performances des porcs élevés en conditions classiques d'élevages. De nombreuses connaissances ont été récemment acquises sur les besoins en phosphore, en zinc et en cuivre des porcs, compte tenu de l'effet négatif de leur accumulation dans les sols cultivés lors de l'épandage des effluents. Les essais ont été menés dans le but de limiter l'excrétion totale du porc, en réduisant les apports par l'aliment et en améliorant leur digestibilité (phosphore et zinc notamment), considérant que la rétention du phosphore, du zinc et du cuivre n'est généralement pas affectée par la composition du régime alimentaire.

La réduction du taux de protéines du régime alimentaire et, par conséquent, de la teneur en potassium des aliments, a ajouté un nouveau critère d'équilibre alimentaire; celui du bilan électrolytique déterminé par les teneurs respectives en sodium, potassium et chlore. Cependant, des travaux sont à mener pour circonscrire les plages de variations acceptables aux différents stades physiologiques.

Il est normal de s'interroger sur l'évolution des besoins en vitamines des porcs, compte tenu de l'amélioration génétique et considérant que la plus grande partie des recherches sur ce sujet, ont été effectuées dans les années 1940 et 1950, à partir donc d'un modèle animal très éloigné des porcs contemporains. Cependant, il faut rappeler que ces recherches ont visé à estimer les besoins minimaux des animaux et que, des **marges de sécurité** ont été adoptées dans les différentes recommandations publiées par les

organismes de recherche. Plusieurs études ont été menées depuis afin d'évaluer si les performances s'amélioreraient avec des teneurs en vitamines plus élevées que celles couramment recommandées. Les résultats de nos travaux et l'examen de la bibliographie sont résumés de façon synthétique dans les recommandations IFIP présentées dans ce document. Des marges de sécurité supplémentaires sont possibles, elles doivent cependant nécessairement considérer **l'impact sur le coût de l'aliment**.

## Références bibliographiques

- Alibert, L. Influence de l'excès de sodium et potassium sur la consommation et la croissance des porcs charcutiers. *Tech porc*, N° 3, P. 12-13, 2012.
- Anderson, L.E.; Myer, R.O.; Brendemuhl, J.H.; Mc Dowell L.R. The effect of excessive dietary vitamin A on performance and vitamin E status in swine diets varying in dietary vitamin E. *Journal of Animal Science*, v.73, p.1093-1098, 1995.
- Bryant, K.L.; Kornegay, E.T.; Knight, J.W.; Webb, K.E.; Notter, D.R. Supplemental biotin for swine. I. Influence on feedlot performance, plasma biotin, and toe lesions in developing gilts. *Journal of Animal Science*, v.60, n.1, p.136-144, 1985a.
- Bryant, K.L.; Kornegay, E.T.; Knight, J.W.; Webb, K.E.; Notter, D.R. Supplemental biotin for swine. II. Influence of supplementation to corn and wheat based diets on reproductive performance and various biochemical criteria of sows during four parities. *Journal of Animal Science*, v.60, n.1, p.145-153, 1985b.
- Bryant, K.L.; Kornegay, E.T.; Knight, J.W.; Webb, K.E.; Notter, D.R. Supplemental biotin for swine. III. Influence of supplementation to corn and wheat based diets on the incidence and severity of toe lesions, hair and skin characteristics and structural soundness of sows housed in confinement during four parities. *Journal of Animal Science*, v.60, n.1, p.154-162, 1985c.
- Castaing, J.; Cambeilh, D.; Hamelin, C. Incidence des apports en vitamines sur les performances des porcelets en deuxième âge. *Journées de la Recherche Porcine*, v.33, p.227-232, 2001.
- Castaing, J.; Paboeuf, F.; Skiba, F.; Chauvel, J.; Cazaux, J.G.; Milgen, J.; Jondreville, C. Estimation du besoin en phosphore digestible apparent du porc charcutier : synthèse d'essais zootechniques effectués au cours des dix dernières années. *Journées de la Recherche Porcine*, v.35, p.47-54, 2003.
- Ching, S.; Mahan, D.C.; Wiseman T.G.; Fasting, N.D. Evaluating the antioxidant status of weanling pigs fed dietary vitamins A and E. *Journal of Animal Science*, v.80, p.2396-2401, 2002.
- Christianson, S.L.; Peo, E.R.; Lewis, A.J.; Giesemann, M.A. Influence of dietary manganese levels on reproduction, serum cholesterol and milk manganese concentration of sows. *Journal of Animal Science*, v.68, Suppl.1, Abstracts, p.368, 1990.
- Copelin, J.L.; Monegou, H.J.; Combs, G.E. Niacin levels in growing-finishing swine diets. *Journal of Animal Science*, abstracts, p.190, 1980.
- Cromwell, G.L.; Sihombing, D.T.H.; Hays, V.W. Effects of iodine level on performance and thyroid traits of growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.41, n.3, p.813-818, 1975.
- Dourmad, J.-Y.; Meschy, F. Le bicarbonate de sodium en nutrition porcine. In : *Conférence GTV/SPACE, Rennes, France, 1998*.
- Dourmad, J.-Y.; Pomar, C.; Masse, D. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. *Journées de la Recherche Porcine*, v.34, p.183-194, 2002.
- Easter, R.A.; Anderson, P.A.; Michel, E.J.; Corley, J.R. Response of gestating gilts and starter, grower and finisher swine to biotin, pyridoxine, folacin and thiamine additions to corn-soybean meal diets. *Journal of Animal Science*, v.28, n.5, p.945-954, 1983.
- Ferrando, R.; Ruckebusch, Y.; Rerat, A. Les vitamines. Le porc et son élevage, bases scientifiques et techniques. Ed. Maloine. 1986. 575p.
- Gaudre, D.; Vautier, A. Incidence zootechnique d'un taux de complémentation vitaminique élevé en engraissement. *Techniporc*, v.29, n.2, p.19-26, 2006.
- Gaudre, D.; Larrere, V.; Granier, R.; Magnin, M.; Jondreville, C.; Paboeuf, F. Quelle réduction du rejet de zinc la 3-phytase microbienne permet-elle chez le porc à partir de 12 kg de poids vif ? *Journées de la Recherche Porcine*, v.38, p.5-12, 2006.
- Gaudre, D. Incidence zootechnique d'une augmentation modérée de la complémentation vitaminique de l'aliment distribué entre 12 et 30 kg de poids vif. *Techniporc*, v.30, n.1, p.21-28, 2007.
- Gaudre, D.; Alibert, L.; Quiniou, N.; Royer, E. Recommandations et calcul de l'apport en phosphore digestible par les matières premières et les phytases. *Techniporc*, v.31, n.5, p.33-39, 2008.
- Gaudre, D.; Granier, R. Incidence de la riboflavine sur les performances des porcs en engraissement. *Journées de la Recherche Porcine*, v.41, p.139-140, 2009.
- Gaudre, D.; Monziols, M.; Lebas, N. Incidence du rapport phosphore : énergie de l'aliment sur les caractéristiques du radius mesurées au scanner à rayons X. *Journées de la recherche porcine*, p. 199-200, 2013.
- Grinstead, G.S.; Goodband, R.D.; Nelssen, J.L.; Tokach, M.D.; Dritz, S.S.; Stott, R. Effects of increasing pantothenic acid on growth performance of segregated early-weaned pigs. *Swine Day 1998*, p.88-90.
- Hamilton, C.R.; Veum, T.L. Responses of sows and litters to added dietary biotin in environmentally regulated facilities. *Journal of Animal Science*, v.59, n.1, p.151-157, 1984.
- Hamilton, C.R.; Veum, T.L. Effect of biotin and (or) lysine additions to corn-soybean meal diets on the performance and nutrient balance of growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.62, p.155-162, 1986.
- Harper, A.F.; Lindemann, M.D.; Chiba, L.I.; Combs, G.E.; Handlin, D.L.; Kornegay, E.T.; Southern, L.L. An assessment of dietary folic acid levels during gestation and lactation on reproductive and lactational performance of sows: a cooperative study. *Journal of Animal Science*, v.72, p.2338-2344, 1994.
- IFIP-French Institute for pig and pork industry. Vitamines: rôles et besoins dans l'aliment du porc. Ed. IFIP, Paris, 2005.
- INRA. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Ed. INRA, Paris, 1984.
- INRA-AFZ. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Ed. INRA, Paris, 2004.
- Ivers, D.J.; Veum, T.L. Effect of niacin additions to corn-soybean meal diets on performance of pigs from weaning to finishing. *Journal of Animal Science*, v.71, p.3383-3388, 1993.

- Jensen, M.; Hakkarainen, J.; Lindholm, A.; Jönsson, L. Vitamin E requirement of growing swine. *Journal of Animal Science*, v.66, p.3101-3111, 1988.
- Jondreville, C.; Prevy, P.S.; Jaffrezic, A.; Dourmad, J.-Y. Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligo-élément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'homme et l'environnement. *INRA Productions Animales*, v.15, n.4, p.247-265, 2002.
- Jondreville, C. Calculer la teneur en P digestible apparent d'un aliment pour porcs à partir des tables INRA-AFZ, Addendum, 2004.
- Jongbloed, A.W.; Everts, H.; Kemme, P.A.; Mroz, Z. Quantification of absorbability and requirements of macroelements In: KYRIAZAKIS, I. (Ed.) *A quantitative biology of the pig*, CAB International, 1999, p.275-298.
- Kirchgessner, M.; Roth-Maier, D.A.; Sporn, R. Untersuchungen zum Trachtigkeitsanabolismus der spurenelemente Kupfer, Zin, Nickel und Mangan bei Zuchtsaver. *Arch.Tierernährung*, v.31, p.21-34, 1981.
- Lewis, A.J.; Cromwell, G.L.; Pettigrew, J.E. Effects of supplemental biotin during gestation and lactation on reproductive performance of sows: a cooperative study. *Journal of Animal Science*, v.69, p.207-214, 1991.
- Lindemann, M.D.; Kornegay, E.T. Folic acid supplementation to diets of gestating-lactating swine over multiple parities. *Journal of Animal Science*, v.67, p.459-464, 1989.
- Lindemann, M.D.; Cromwell, G.L.; Monegue, H.J. Effects of inadequate and high levels of vitamin fortification on performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, v.73, suppl.1, p.16, 1995.
- Lutz, T.R.; Stahly T.S. Dietary riboflavin needs for body maintenance and body protein and fat accretion in pigs. *Iowa State University*, p.41-44, 1998.
- Lutz, T.R.; Stahly T.S.; Cook, D.R.; Ewan, R.C. Effects of dietary thiamin, folacin or niacin regimen on growth in high lean pigs. *Journal of Animal Science*, v.77, suppl.1, p.189, 1999
- Mahan, D.C. Effects of dietary vitamin E on sow reproductive performance over a five-parity period. *Journal of Animal Science*, v.72, p.2870-2879, 1994.
- Mahan, D.C.; Cline, T.R.; Richert, B. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics and loin quality. *Journal of Animal Science*, v.77, p.2172-2179, 1999.
- Mahan, D.C.; Peters, J.C. Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *Journal of Animal Science*, v.82, p.1343-1358, 2004.
- Matte, J.J.; Girard, C.L.; Brisson, G.J. The role of folic acid in the nutrition of gestating and lactating primiparous sows. *Livestock Production Science*, v.32, p.131-148, 1992.
- Newcomb, M.D.; Allee, G.L. Water soluble vitamins for weaned pigs. *Journal of Animal Science*, v.64, suppl.1, p.108, 1986.
- NRC. Nutrient Requirement of Swine, tenth revised edition, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.
- Perez, J.M. L'alimentation minérale des porcins. *Techniporc*, v.1, n.1, p.1-32, 1978.
- Pointillart, A. La carence expérimentale en vitamine "D" chez le porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, v.12, p.335-344, 1980.
- Quiniou, N. Le point sur l'équilibre acido-basique chez le porc et le bilan électrolytique des aliments. *Techniporc*, v.25, n.3, 2002
- Quiniou, N.; Calvar, C. Est-ce que la truie hyperprolifique valorise un apport en vitamines supérieur aux recommandations ? *Techniporc*, v.28, n.5, p.3-8, 2005.
- REAL, D.E.; Nelssen, J.L.; Unruh, J.A.; Tokach, M.D.; Goodband, R.D.; Drits, S.S.; Derouchev, J.M.; alonso, E. Effects of increasing dietary niacin on growth performance and meat quality in finishing pigs reared in two different environments. *Journal of Animal Science*, v.80, p.3203-3210, 2002.
- Revy, P.S.; Jondreville, C.; Dourmad, J.-Y.; NYS, Y. Le zinc dans l'alimentation du porc : oligo-élément essentiel et risque potentiel pour l'environnement. *INRA Productions Animales*, v.16, n.1, p.3-18, 2003.
- Simard, F.; Guay, F.; Girard, C.L.; Giguere, A.; Laforest, J.-P.; Matte, J. La vitamine B12 chez la truie gravide : faut-il en actualiser le besoin ? *Journées de la Recherche Porcine*, v.36, p.229-234, 2004.
- Stahly, T.S.; Williams, N.H.; Swenson, S.G.; Ewan, R.C. Dietary B vitamin needs of high and moderate lean growth pigs fed from 9 to 28 kg body weight. *Journal of Animal Science*, v.73, suppl.1, p.193, 1995.
- Stahly, T.S.; Lutz, T.R. Role of pantothenic acid as a modifier of body composition pigs. *Journal of Animal Science*, v.79, suppl.1, p.68, 2001.
- Ullrey, D.E. Vitamin E for swine. *Journal of Animal Science*, v.53, n.4, p.1039-1056, 1981.
- Ullrey, D.E. Basis for regulation of selenium supplements in animal diets. *Journal of Animal Science*, v.70, p.3922-3927, 1992.
- Watkins, K.L.; Southern, L.L.; Miller, J.E. Effect of dietary biotin supplementation on sow reproductive performance and soundness and pig growth and mortality. *Journal of Animal Science*, v.69, p.201-206, 1991.
- Wilson, M.E.; Pettigrew, J.E.; Johnston, L.J.; Chester-Jones, H. Effect of B vitamin supply upon growth of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, v.70, suppl.1, p.61, 1992a.
- Wilson, M.E.; Pettigrew, J.E.; Shurson, G.C.; Johnston, L.J.; Chester-Jones, H. Effect of additional B vitamin in complex diets containing porcine plasma proteins and milk products or in simple diets on growth of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, v.70, suppl.1, p.233, 1992b.
- Woodworth, J.C.; Goodband, R.D.; Nelssen, J.L.; Tokach, M.D.; Musser, R.E. Added dietary pyridoxine, but not thiamine, improves weanling pig growth performance. *Journal of Animal Science*, v.78, p.88-93, 2000.

## Référence bibliographique de cet article

- Gaudré D. et Quiniou N., 2015. Quelles teneurs en minéraux et en vitamines recommander pour le régime alimentaire des porcs ? *Les Cahiers de l'IFIP*, 2(1), 51-62.